



**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE DE FI DE CARRERA

**TÍTOL DEL PFC: Disseny d'un sistema de control climàtic per cultius
hidropònics en petits hivernacles domèstics**

TITULACIÓ: Enginyeria de Telecomunicació (segon cicle)

AUTOR: Òscar Alarcon Garcia

DIRECTOR: Jordi Berenguer i Sau

CODIRECTOR: Joan Oca Baradad

DATA: 15 de juliol de 2008

Títol: Disseny d'un sistema de control climàtic per cultius hidropònics en petits hivernacles domèstics

Autor: Òscar Alarcon Garcia

Director: Jordi Berenguer i Sau

Codirector: Joan Oca Baradad

Data: 15 de juliol de 2008

Resum

Aquest projecte s'engloba en l'àmbit de la automatització de cultius hidropònics en petits hivernacles domèstics. Els cultius hidropònics, envers als cultius tradicionals, tenen la característica d'utilitzar substrats inerts amb un pes molt reduït. Aquesta característica, els fa perfectes per la seva utilització en terrasses i terrats.

En la actualitat, són moltes les persones que decideixen conrear les seves pròpies hortalisses a casa seva com a hobby, no només per poder collir directament el fruit de la planta sinó per gaudir amb tot el procés de creixement d'aquesta.

Tot i que aquesta pràctica cada cop està guanyant més adeptes, la realitat és que els cultius requereixen d'un seguiment constant i adequat, i uns dies sense aquesta atenció poden comportar la pèrdua de la collita.

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar una solució tecnològica de baix cost que permeti controlar i automatitzar les operacions d'accionament dels equips de climatització, reg i fertilització d'un petit hivernacle de cultiu hidropònic domèstic.

Finalment s'ha implementat un software que permet controlar i automatitzar totes les operacions de l'hivernacle i s'ha dissenyat tota la part hardware necessària per l'adquisició de dades i l'activació dels equips de l'hivernacle.

Title: Design of a system of climatic control for hydroponics plantations

Author: Òscar Alarcon Garcia

Director: Jordi Berenguer i Sau

Codirector: Joan Oca Baradad

Date: 15 de juliol de 2008

Overview

This project is focused on the automation of the hydroponics plantations in a hobby greenhouse. The hydroponics plantations versus the traditional plantations have the characteristic of using inert substratum with a very low weight. It makes them perfect to be used in terraces or balconies.

Nowadays, there is a lot of people who want to cultivate their own vegetables at home as a hobby, not only to take vegetables directly from the plant but also to enjoy all the grown process.

This practice has more adepts every day, but the reality is that the plantations require a very accurate control and a few days without this attention could represent the lost of the harvest.

The objective of this project is designing a low cost technological solution that allows the user to control and automate the activation operations of the different devices of the greenhouse: the climate system, the watering system and fertilization system.

Finally, a software has been implemented to control and automate all the operations of the greenhouse. All the necessary hardware has been designed to obtain the data and make it possible to activate the devices of the greenhouse.

AGRAIMENTS

En primer lloc, vull agrair als meus dos tutors **Jordi Berenguer** i **Joan Oca** per haver acceptat aquest projecte i per donar-me el seu suport durant aquests mesos.

No voldria acabar aquesta etapa de la meva vida sense agrair a algunes persones que han estat, són i seran molt importants per mi i d'alguna manera m'han ajudat a fer aquest camí.

A la **Gemma**, per haver estat sempre al meu costat, per confiar sempre en les meves possibilitats i per ser com és. Sense ella això hagués estat impossible.

Als **meus pares**, els quals han lluitat i treballat molt dur perquè pogués realitzar el meus estudis.

Al meu germà **David** pels bons consells al llarg d'aquests anys i perquè d'alguna manera ell ha estat el culpable de tot això.

Al meu company i amic **Carlos López** per haver-me ajudat a resoldre problemes i per la seva amistat desinteressada.

I per últim, a totes aquelles persones que he conegut en aquests últims anys els quals m'han aportat coses que d'alguna manera queden reflexades en aquests projecte.

ÍNDIX

INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL 1. ELS CULTIUS I LES SEVES NECESSITATS	2
1.1. Cultius hidropònics	2
1.2. Cultius a l'aire lliure	3
1.3. Cultius en hivernacles	4
1.4. Jardins domèstics i "horts urbans"	5
CAPÍTOL 2. CONTROL AMBIENTAL I REG DE CULTIUS EN HIVERNACLES	6
2.1. Paràmetres a considerar en el control climàtic.....	6
2.1.1. Temperatura	6
2.1.2. Humitat relativa.....	6
2.1.3. Llum	7
2.1.4. Anhídrid carbònic (CO ₂).....	8
2.2. El Reg i la fertilització del cultius.....	9
2.2.1. Cultius al sòl	9
2.2.2. Cultius hidropònics	10
2.2.3. Paràmetres a considerar en el control d'un cultiu hidropònic	11
2.3. Sistemes de control ambiental, reg i fertilització.....	12
2.3.1. Sistema de ventilació i refrigeració.....	12
2.3.2. Sistema de calefacció.....	13
2.3.3. Sistema d'humidificació	15
2.3.4. Sistema d'il·luminació artificial.....	16
2.3.5. Sistema d'enriquiment carbònic	17
2.3.6. Sistema de reg i fertilització.....	17
CAPÍTOL 3. SOLUCIÓ TÉCNICA	20
3.1 Solucions existents.....	21
3.2 Sistema d'adquisició de dades	22
3.2.1 Models comercials	22
3.2.2 DAQ escollit	23
3.3 Sensors.....	24
3.3.1 Sensor de temperatura.....	24
3.3.2 Sensor d'humitat.....	28
3.3.3 Sensor radiació solar	32
3.3.4 Anemòmetre	36
3.3.5 Sensor de nivell	39
3.3.6 Recipient de drenatge	43
3.3.7 Sensor de CE	45

3.4	Relés	49
3.4.1	Models comercials	49
3.4.2	Relé escollit	50
3.5	Programa de Control.....	51
3.5.1	Greenhouse Control System	51
3.5.2	Criteris per l'activació dels actuadors.....	55
3.5.3	Validació	56
CAPÍTOL 4. PRESSUPOST		58
CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS I LÍNIES FUTURES.....		59
5.1	Conclusions	59
5.2	Línies futures	59
REFERÈNCIES.....		60
ANNEX A		65
A.1	Model electrònic	65
ANNEX B		69
B.1	Model electrònic	69

INTRODUCCIÓ

En els darrers anys, s'ha estès molt el cultiu de plantes a la pròpia llar i ha esdevingut el fenomen conegut com a "hort urbà", i és que collir els tomàquets madurs directament de la mata o cultivar amb cura uns enciams s'ha convertit en un petit plaer per aquells habitants de les grans ciutats que mai troben temps ni espai en les seves vides atrafegades.

Els horts urbans són cultius pensats per a produir petites quantitats de verdures i hortalisses en un pati, terrat o jardí per l'autoconsum.

La gran majoria d'horts urbans utilitzen la tècnica de cultiu al sòl (tradicional), no obstant, quan construïm un hivernacle o un jardí al terrat d'un edifici és molt important no sobrecarregar excessivament l'estructura del mateix. Per aquesta raó en aquest projecte es proposa un model d'hort urbà basat en un petit hivernacle amb cultius hidropònics. La principal característica dels cultius hidropònics és que treballen amb substrats de cultius artificials, molt més lleugers que el sòl. Aquests substrats són inerts i no tenen capacitat de retenir nutrients, per aquesta raó, cal utilitzar un sistema que aporti, de manera gairebé continua, l'aigua i els nutrients que el cultiu necessita.

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar una solució tecnològica de baix cost que permeti controlar i automatitzar les operacions d'accionament dels equips de climatització, reg i fertilització d'un petit hivernacle de cultiu hidropònic en un edifici residencial.

Al mercat, existeixen solucions tecnològiques molt sofisticades per a grans hivernacles dedicats al cultiu hidropònic amb finalitats estrictament productives, però aquestes solucions són molt costoses per aplicar-les al entorn d'un hivernacle domèstic pensat amb finalitats recreatives principalment.

Aquest projecte ha estat dividit en 5 capítols. El primer capítol parla dels cultius i de les seves necessitats. Al segon capítol s'exposen quins són els paràmetres clau a considerar en el control ambiental i en els sistemes de fertirrigació dels cultius hidropònics i quins sistemes de control existeixen. En el tercer capítol es dissenya, tant la part hardware com software, la solució tècnica que permetrà controlar i automatitzar totes les tasques de l'hivernacle. En el quart capítol es realitza un pressupost amb el cost total que suposa el sistema de control i automatització proposat i per últim, al cinquè capítol és realitzen les conclusions a las que s'han arribat i es mencionen algunes idees sobre línies futures d'acció en aquest camp.

CAPÍTOL 1. ELS CULTIUS I LES SEVES NECESSITATS

1.1. Cultius hidropònics

Els cultius sense sòl (d'ara en endavant hidropònics) sorgeixen com una alternativa a la agricultura tradicional. El seu principal objectiu és eliminar o disminuir els factors limitants del creixement dels vegetals associats a les característiques del sòl, substituint-los per altres suports de cultiu i aplicant tècniques de fertilització alternatives. Aquest tipus de cultiu ofereix més rapidesa en el creixement i maduració de la planta en comparació al seu entorn natural, aconseguint retallar fins un 60% de temps en el seu cicle.

D'altra banda, una de les característiques importants dels cultius hidropònics, i per la qual aquests s'utilitzen sovint en terrasses, és que utilitzen substrats molt poc pesats en comparació als cultius amb terra.

Existeix un gran nombre de materials que poden ser utilitzats com a mitja de cultiu hidropònic, aquests poden ser orgànics (turbes, escorça de fusta, ...) o inorgànics (perlita, llana de roca, sepiolita, espuma de poliuretà, ...) i tots tenen en comú una baixa densitat.

Els cultius hidropònics, tant els que estan al aire lliure com els que es troben en hivernacles, requereixen un control rigorós del subministrament d'aigua i nutrients ja que aquests han d'anar circulant de manera quasi continua però sense saturar d'humitat el substrat. Un percentatge de l'aigua aplicada, és drenada del substrat per eliminar l'excés de sals que s'hi pugui acumular. Aquest fet fa que calgui controlar i actuar de manera automàtica i eficient aquesta tasca.

Com es pot veure en la següent figura, la majoria dels cultius hidropònics es realitzen mitjançant la utilització de banquetes elevades del terra. [5][6]



Fig. 1.1 Banqueta amb cultius hidropònics

1.2. Cultius a l'aire lliure

Els cultius a l'aire lliure, son aquells que no disposen de cap tipus d'estructura que els protegeixi i com el seu nom indica estan en contacte directe amb les condicions climatològiques naturals. Aquests cultius tant poden ser al sòl com hidropònics.

El principal avantatge dels cultius al aire lliure és que no tenen cap cost en concepte de hivernacles, ventiladors, calefaccions, etc. En aquest punt no només s'ha de tenir en compte la inversió inicial en l'estructura de l'hivernacle i els aparells per modificar les condicions climatològiques sinó també la despesa posterior de consum energètic d'aquests aparells. Aquest fet fa que cultivar productes en aquestes condicions sigui molt més econòmic.

Un altre avantatge de cultivar al aire lliure, és que les plantes creixen amb condicions de llum, humitat i calor degudes al temps i sense ajuda de cap aparell i això fa que els productes siguin més naturals.

Tot i que aquest tipus de cultiu presenta un estalvi econòmic molt important, cal dir que també comporta grans inconvenients. El fet d'estar exposats a les condicions climatològiques naturals, fa que siguin molt vulnerables a temperatures extremes, a nevades, a vents forts, pluges fortes o granissades que poden debilitar molt les plantes, o fins i tot matar-les. Aquest fet, no només fa que les plantes pateixin, sinó que també produeix que els fruits creixin de manera no uniforme, i el que és més important, limita a cultivar només productes de temporada.

Un altre inconvenient fruit d'estar al aire lliure, és que el cultius són molt més vulnerables a plagues o a que s'els mengin els animals.

En la següent figura podem veure un exemple de cultiu a l'aire lliure:



Fig. 1.2 Cultiu al aire lliure

1.3. Cultius en hivernacles

Els cultius en hivernacles són aquells que es troben dins d'estructures cobertes (hivernacles) que els protegeixen i preserven del mal temps. De la mateixa manera que els cultius a l'aire lliure, els cultius en hivernacles tant poden ser de sòl com hidropònics.

Els cultius en hivernacles presenten grans avantatges envers els cultius al aire lliure ja que aquests no depenen de les condicions climatològiques naturals. Aquest fet, fa que es puguin cultivar productes exòtics, provinent d'altres zones climàtiques, i productes fora de temporada. Al mateix temps, permet que les plantes no es vegin afectades pel mal temps, que els fruits creixin de manera uniforme i que el rendiment del cultiu sigui més alt.

Un altre dels avantatges que presenta el cultiu en hivernacle és que evita que els animals es mengin el fruits i que es produeixin plagues.

Tot i que com es veu, el cultiu en hivernacles presenta molts avantatges respecte al cultiu al aire lliure, aquest també té inconvenients.

El principal inconvenient d'aquest tipus de cultiu és la inversió inicial que es requereix per l'estructura i cobertura de l'hivernacle i pels aparells reguladors de clima. A més, la despesa energètica que es produeix al utilitzar aquests aparells (ventiladors, calefaccions, ...), fa que el cost de producció sigui més alt que el del cultiu al aire lliure, tot i l'augment de la productivitat.

Per últim, el fet d'haver de regular el clima de l'hivernacle per aconseguir condicions climatològiques ideals pel cultiu, fa que l'agricultor hagi de tenir coneixements específics.

En la següent figura podem veure un exemple de cultiu en hivernacle:



Fig. 1.3 Cultiu en hivernacles

1.4. Jardins domèstics i “horts urbans”

Antigament, el conrear un hort familiar amb diversos arbres fruiters es considerava un mitjà econòmic de subsistència, ja que un tros de terreny nodria permanent a la propietat amb hortalisses i fruites de temporada.

Avui dia, el desenvolupament d'un petit hort urbà o jardí domèstic es pot associar més amb l'oci que amb la pròpia necessitat. Moltes persones desitgen gaudir amb un hobby addicional cuidant les seves plantes i estant en contacte directe amb la naturalesa. Sense ser uns experts hortolans poden gaudir conreant el seu propi hort o jardí en l'espai que tinguin: en l'exterior dels habitatges, en finques d'esbarjo, en la terrassa, en la balconada, etc. collint i consumint les seves pròpies i saboroses hortalisses o fruits. Degustar un producte acabat de collir del propi cultiu pot arribar a convertir-se, per a alguns, en un plaer místic. A més aquesta afició és una teràpia molt recomanable i efectiva contra l'estrès de la vida diària.

Tot i que en aquest país encara no és una pràctica molt estesa, en altres països és molt freqüent que la gent tingui els seus propis horts en petits hivernacles, anomenats hobby greenhouse, en comptes de a l'aire lliure.



Fig. 1.4 Hobby greenhouse

Alhora de fer-se un hort urbà, cal tenir en compte que una vegada iniciat el cultiu d'una o altra espècie, la falta d'atenció durant uns pocs dies pot representar la perduda de la collita. Aquest, precisament és el problema més gran que comporten els horts urbans avui dia. Les vides tant atrafegades que té la gent, fa que sigui molt probable que els horts es vegin desatesos durant alguns dies. En aquest context, és on neix la necessitat d'oferir als hortolans domèstics una solució que no només els permeti descuidar el seu hort durant alguns dies, sense que aquest es vegi afectat, sinó que també controli l'hort de manera més eficient per tal d'obtenir millors collites.

CAPÍTOL 2. CONTROL AMBIENTAL I REG DE CULTIUS EN HIVERNACLES

2.1. Paràmetres a considerar en el control climàtic

El desenvolupament del cultiu, en les seves diferents etapes de creixement, està condicionat per quatre factors ambientals o climàtics: la temperatura, la humitat relativa, la llum i el CO₂. Per que les plantes puguin realitzar les seves funcions, és necessari mantenir aquests factors dins d'uns límits mínims i màxims, fora dels quals les plantes paren el seu metabolisme i poden arribar fins i tot a morir. [3]

2.1.1. Temperatura

Aquest és el paràmetre més important a tenir en compte en el control ambiental de l'hivernacle, ja que és el més influent en el creixement i desenvolupament de les plantes. Normalment la temperatura òptima per les plantes es troba entre 16-20°C per la nit i 22-30°C pel dia, tot i que aquests marges disten del marge òptim econòmic degut a la despesa energètica que suposen en alguns casos.

Per tal de controlar la temperatura, és important conèixer les necessitats i limitacions de l'espècie cultivada. Tanmateix, cal aclarir el següents conceptes de temperatures, que indiquen els valors objectiu a tenir en compte pel bon funcionament del cultiu i les seves limitacions:

- Temperatura màxima i mínima letal. Són aquelles, per sobre o per sota de les quals es produeixen danys a la planta.
- Temperatures òptimes màximes i mínimes biològiques. Són aquelles que indiquen valors, per sobre o per sota, dels quals no es possible que la planta arribi a una determinada fase vegetativa, com la floració, la fructificació, etc.
- Temperatures nocturnes i diürnes. Son aquelles que indiquen els valors aconsellats per un correcte desenvolupament de la planta.

La temperatura dins de l'hivernacle, variarà de manera natural segons la radiació solar, la temperatura exterior i la renovació de l'aire interior.

2.1.2. Humitat relativa

La humitat és la quantitat de vapor d'aigua present a l'aire. La humitat relativa és el percentatge entre la humitat que conté l'aire i la màxima humitat que pot contenir a una determinada temperatura.

Existeix una relació inversa entre la temperatura i la humitat. A elevades temperatures, augmenta la capacitat de l'aire de contenir vapor d'aigua i per tant disminueix la humitat relativa. Amb temperatures baixes passa tot el contrari. Cada espècie té una humitat ambiental ideal per desenvolupar-se en perfectes condicions.

La humitat relativa de l'aire és un factor climàtic que pot modificar el rendiment final dels cultius. Quan la humitat relativa és excessiva, les plantes redueixen la transpiració i disminueixen el seu creixement, es produeixen avortaments florals per l'espessiment del pol·len i un desenvolupament més gran de malalties criptogàmiques.

Pel contrari, si és molt baixa, les plantes transpiren en excés i poden arribar a deshidratar-se.

L'excés d'humitat relativa pot reduir-se mitjançant la ventilació, augmentant la temperatura i evitant l'excés d'humitat al terra de l'hivernacle. Pel contrari, la manca d'humitat relativa pot corregir-se amb regs, omplint petits recipients o bassals d'aigua, polvoritzant aigua en l'ambient i fent baixar la temperatura.

2.1.3. Llum

La radiació solar és la font d'energia pel creixement i desenvolupament de les plantes i el principal factor de la bioproduktivitat vegetal.

Quan la lluminositat a l'interior de l'hivernacle augmenta, s'ha d'augmentar la temperatura, la humitat relativa i la quantitat de CO₂ perquè la fotosíntesis sigui màxima; pel contrari, si hi ha poca llum, poden baixar les necessitats d'altres factor i per tant afectar al correcte creixement de la planta.

Per millorar la lluminositat natural es poden utilitzar el següents mitjans:

- Materials de coberta amb bona transparència
- Bona orientació de l'hivernacle per tal de captar la màxima radiació
- Estructures que redueixin al màxim les ombres interiors
- Cobrir el terra amb plàstic blanc
- Utilització de làmpades

A l'estiu, per reduir la lluminositat es poden utilitzar:

- Blanqueig de les cobertes
- Malles per ombrejar

Les cobertes brutes o envellides provoquen el mateix efecte que el blanqueig de les mateixes.

2.1.4. Anhídrid carbònic (CO₂)

L'anhídrid carbònic de l'atmosfera és la matèria primera imprescindible per la fotosíntesi. L'enriquiment de l'atmosfera de l'hivernacle amb CO₂, és molt interessant en molts cultius, tant en hortalisses com en flors.

La concentració normal de CO₂ en l'atmosfera és del 0,03%. Aquest índex es pot augmentar a límits de 0,1-0,2%, quan els altres factors de la producció vegetal siguin òptims, si es desitja l'aprofitament al màxim de l'activitat fotosintètica de les plantes. Les concentracions superiors al 0,3% resulten tòxiques per als cultius.

A l'interior d'un hivernacle, durant el període diürn, les plantes realitzen la fotosíntesis, fixant el CO₂ de l'aire. Això fa que, si no hi ha una bona ventilació, les concentracions de CO₂ vagin disminuint i això esdevingui un factor limitant de la producció. Aquest problema, normalment es sol presentar en el període hivernal, que és quan s'acostuma a tenir les finestres més tancades per tal de mantenir una temperatura de l'aire interior superior a l'exterior. En aquests casos, l'aplicació de CO₂, especialment a les primeres hores del matí, per tal d'assolir les condicions òptimes pel cultiu, pot ser una alternativa interessant per augmentar la productivitat.

Els nivells aconsellats de CO₂ depenen de l'espècie o varietat conreada, de la radiació solar, de la ventilació, de la temperatura i de la humitat. L'òptim d'assimilació és entre els 18 i 23°C de temperatura, descendant per sobre dels 23-24° C. Respecte a la lluminositat i humitat, cada espècie vegetal té un òptim diferent.

L'efecte que produeix la fertilització amb CO₂ sobre els cultius hortícoles, és el d'augmentar la precocitat aproximadament un 20% i augmentar els rendiments en un 25-30%, millorar la qualitat del cultiu i per tant la de la seva collita.

Tanmateix, no es pot parlar d'una bona activitat fotosintètica sense una òptima lluminositat. La llum és el factor limitant, i així, la taxa d'absorció de CO₂ és proporcional a la quantitat de llum rebuda, a més de dependre també de la pròpia concentració de CO₂ disponible en l'atmosfera de la planta. Es pot dir que el període més important per a l'enriquiment carbònic és el migdia, ja que és la part del dia en què es donen les màximes condicions de lluminositat. No obstant, en els climes mediterranis es presenta sovint el problema de l'excés de temperatura, motiu que obliga a obrir finestres per renovar l'aire interior i fer baixar la temperatura. En aquestes condicions, el cost de CO₂ necessari per mantenir les concentracions òptimes és molt alt. Per aquest motiu, només es sol aplicar la fertilització de CO₂ a les primeres hores del matí, quan les temperatures encara no són gaire elevades.

2.2. El Reg i la fertilització del cultius

L'aigua és el factor més important en la producció de collites. La demanda d'aigua té una oscil·lació similar a la temperatura, tant diàriament com al llarg del cicle vegetatiu. Cal assenyalar però, que les arrels perden la seva capacitat d'assimilació, per falta d'oxigen, quan es troben saturades d'aigua; si la situació d'asfíxia s'allarga més de 12 hores, aquesta incapacitat es pot tornar irreversible.

En quant a la qualitat, convé disposar de l'anàlisi de les aigües emprades. L'ús d'aigües de reg salines suposa el risc de salinitzar el sòl, provocant en nombrosos casos disminució en la producció del cultiu (la capacitat de la planta per a absorbir l'aigua disminueix a mesura que augmenta el contingut de sals). A més, pot ocasionar altres problemes com poden ser toxicitat (algunes sals quan s'acumulen en excés poden resultar tòxiques per als cultius, o ocasionar desequilibris en l'absorció dels nutrients), problemes d'infiltració de l'aigua en el sòl (un alt contingut de sodi i baix de calci en el sòl fa que les seves partícules tendeixin a disgregar-se, el que ocasiona disminució de la velocitat d'infiltració de l'aigua) i obstruccions en els sistemes de reg localitzat. [10]

Per tal d'obtenir collites amb bons rendiments s'ha de proporcionar als cultius una fertilització balancejada i completa. Per maximitzar l'eficiència de la fertilització, és necessari realitzar un bon diagnòstic, pel qual es fonamental, en cultius al sòl, l'anàlisi periòdic dels sòls amb l'objectiu de determinar la fertilitat i els requeriments de nutrients que s'han d'aportar amb els fertilitzants, i en els cultius hidropònics tenir un control rigorós de les condicions de la solució nutritiva.

2.2.1. Cultius al sòl

Per qualsevol tipus de cultiu, l'aigua és de vital importància tot i que existeixen cultius que no requereixen un control tant acurat com d'altres. Aquest seria el cas dels cultius al sòl, tot i que aquest control variarà molt depenent del tipus de sòl que es tingui, de la zona geogràfica on es trobi i de la època de l'any. Si un cultiu disposa d'un sòl sorrenc, aquest necessitarà ser regat molt més sovint que un sòl argilós el qual reté molt més la humitat. De la mateixa manera, en zones geogràfiques molt humides només caldrà regar de manera esporàdica i a les estacions més caloroses s'haurà d'augmentar la freqüència de reg. [9]

En quant a la fertilització dels cultius orgànics, s'ha de dir, que aquesta també variarà en funció del tipus de sòl i de la zona geogràfica on estigui el cultiu ja que la terra disposa de fertilitzants naturals. Pels cultius orgànics es poden fer servir tant fertilitzants líquids com sòlids. [8]

Tipus de fertilitzants:

- Fertilitzants orgànics. Fems animals, compost, etc. Solen ser d'acció lenta.
- Àcids húmics. Poden ser sòlids o líquids.

- Fertilitzants minerals. La majoria són d'acció ràpida. Es presenten en forma sòlida (solubles o no solubles) o bé en dissolució.
 - Nitrogenats
 - Fosfòrics
 - Potàssics
 - Complexes
 - Binaris
- Fertilitzants d'alliberació lenta. Són de tipus sòlid i alliberen els elements fertilitzants durant al menys 3 mesos.

2.2.2. Cultius hidropònics

Si l'aigua és el factor més important en la producció de collites, i realitzar un control del reg és vital pel bon desenvolupament de les plantes, en els cultius hidropònics, aquest control és fa extremadament important i ha de ser molt més acurat.

Un dels factors més importants perquè els cultius es desenvolupin correctament és el control de la conductivitat elèctrica del aigua.

No obstant, un dels factors que caracteritza els cultius sense sòl és la fertirrigació. La fertirrigació és el subministrament o la dosificació de fertilitzants, repartits durant tots els dies del cicle del cultiu. Això permet evitar els problemes que puguin originar un excés transitori de fertilitzants en el substrat. L'aigua utilitzada pel reg es barreja amb una dissolució concentrada de fertilitzants (dissolució mare) que després de filtrar-la, arriba als sistemes de degoteig. Aquesta dissolució reacciona amb el substrat i dona lloc a la dissolució nutritiva definitiva, de la que realment s'alimenta la planta. [3]

Avantatges de la fertirrigació

- Dosificació racional dels fertilitzants
- Estalvi considerable d'aigua
- Utilització d'aigües de no molt bona qualitat
- Nutrició del cultiu optimitzada i per tant augment de rendiments i qualitats dels fruits
- Control de la contaminació
- Major eficàcia y rendibilitat dels fertilitzants
- Adaptació dels fertilitzants a un cultiu, substrat, aigua de reg i condicions climàtiques determinades, durant tots i cada un dels dies del cicle.

Inconvenients de la fertirrigació

- Cost inicial de les infraestructures
- Risc d'obturació del degoteig
- Necessitat de personal especialitzat per la seva utilització

2.2.3. Paràmetres a considerar en el control d'un cultiu hidropònic

2.2.3.1. Conductivitat elèctrica

La conductivitat elèctrica es la mesura de la capacitat que té un material per a conduir el corrent elèctric. Les solucions nutritives contenen partícules iòniques que duen càrregues i per tant posseeixen aquesta habilitat.

Com més gran és la quantitat d'aquests ions dissolts en l'aigua, la conductivitat de la solució resultant és major. Per tant el mesurament de la conductivitat elèctrica d'una solució nutritiva té una relació directa amb la quantitat de materials sòlids dissociats que hi ha dissolts en ella. D'aquesta manera és pot saber la quantitat de nutrients que hi ha dissolts al aigua.

2.2.3.2. pH

El pH es defineix com el potencial d'hidrogen negatiu de l'activitat d'ions hidrogen. En els cultius hidropònics, el pH és un factor molt important pel creixement de les plantes i d'aquí la importància de controlar aquest paràmetre. Quan el pH no es manté al nivell adequat, la planta perd la seva capacitat d'absorbir alguns dels nutrients elementals requerits pel seu creixement. Per a cada planta hi ha un nivell adequat de pH que produeix el creixement i productivitat màxima. El pH òptim varia segons la planta i la varietat però la majoria creixen en condicions ideals amb nivells de pH entre 5,5 i 6,5, no obstant, la gran majoria de plantes sobreviuen en el rang de pH de 5.0 a 7.5.

2.2.3.3. %drenatge

El tant per cent de drenatge, és la quantitat d'aigua drenada pel cultiu en base al total d'aigua aportada.

En els cultius hidropònics és de vital importància el control del drenatge del cultiu. El drenatge ideal és funció, principalment de la salinitat de l'aigua de reg i de l'estat fenològic del cultiu i aquest, normalment oscil·la entre el 15 % i el 50 %. Amb la quantitat d'aigua drenada, es pot saber la quantitat d'aigua que absorbeix el cultiu, i per tant, quines són les necessitats hídriques d'aquest en cada moment.

Per tal que es pugui produir el drenatge, els recipients on es troben els cultius han de tenir perforacions a la seva base.

2.2.3.4. Fertilitzants aportats

Els cultius hidropònics es nodreixen exclusivament dels nutrients aportats pels fertilitzants en la solució nutritiva ja que no disposen dels nutrients naturals del sòl. Per aquest motiu, es fa de gran importància el control de la quantitat de nutrients absorbits pel cultiu. Per tal de saber la quantitat de fertilitzants que s'han d'aportar al cultiu, és realitzen mesures de la CE i el pH de l'aigua drenada. Mesures de conductivitat elèctrica elevades en l'aigua drenada poden indicar un excés de fertilitzants.

2.3. Sistemes de control ambiental, reg i fertilització

El control ambiental es basa en utilitzar de forma adequada tots aquells sistemes instal·lats a l'hivernacle: el sistema de calefacció, el sistema d'humidificació, el sistema d'il·luminació, la ventilació i el subministrament de fertilització carbònica, per mantenir els nivells adequats de radiació, temperatura, humitat relativa i nivell de CO₂, i així aconseguir la millor resposta del cultiu i, per tant millores en el rendiment, precocitat, qualitat del producte i qualitat del cultiu.

De la mateixa manera, es necessari disposar d'uns bons sistemes de reg i fertilització i utilitzar-los adequadament per aconseguir que les plantes tinguin en tot moment el nivell d'aigua i nutrients necessaris pel seu bon desenvolupament.

2.3.1. Sistema de ventilació i refrigeració

2.3.1.1. Ventilació

La ventilació consisteix en la renovació de l'aire dintre del recinte de l'hivernacle. Al renovar l'aire s'actua sobre la temperatura, la humitat, el contingut en CO₂ i l'oxigen que hi ha en l'interior de l'hivernacle. La ventilació pot fer-se d'una forma natural o forçada.

2.3.1.1.1. Ventilació natural o passiva

Es basa en la disposició, en les parets i en el sostre de l'hivernacle, d'un sistema de finestres que permetin l'aparició d'una sèrie de corrents d'aire que contribuïxen a disminuir les temperatures elevades i a reduir el nivell higromètric. Les finestres poden ser zenitals si es disposen en el sostre o laterals si estan col·locades sobre les parets laterals de l'hivernacle.

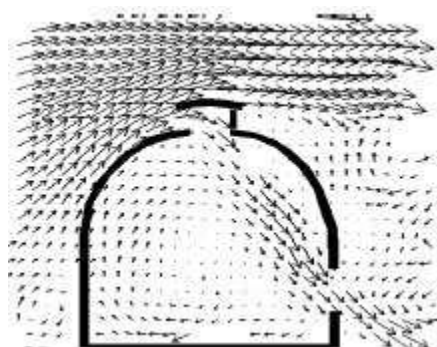


Fig. 2.1 Exemple de finestres zenital i lateral

Les finestres zenitals resulten unes vuit vegades més efectives que les laterals en la generació de corrents d'aire. [1]

2.3.1.1.2. Ventilació mecànica o forçada

Els sistemes de ventilació forçada consisteixen a establir un corrent d'aire mitjançant ventiladors extractors, en el qual s'extreu aire calent de l'hivernacle, i el volum extret és ocupat immediatament per aire de l'atmosfera exterior. Amb aquest sistema solament es pot aconseguir una temperatura idèntica a la de l'exterior, però el seu control és més precís que el que s'assoleix amb la ventilació passiva.

També s'utilitzen ventiladors per generar corrents d'aire (amb les finestres obertes) en condicions de vent en calma.

2.3.1.2. Refrigeració

La refrigeració consisteix en la disminució de la temperatura de l'interior de l'hivernacle. Normalment, s'utilitzen sistemes que combinen la humidificació de l'aire interior amb un cert grau de renovació per ventilació.

2.3.1.2.1. Nebulització fina

Consisteix a distribuir en l'aire un gran nombre de partícules d'aigua líquida de grandària pròxima a 10 micres. A causa de l'escassa grandària de les partícules, la seva velocitat de caiguda és molt petita, pel que es mantenen suspeses a l'aire de l'hivernacle prou temps com per evaporar-se sense arribar a mullar els cultius.

Amb aquest sistema poden aconseguir-se descensos tèrmics en l'interior de l'hivernacle de fins a 10-15°C quan la humitat de l'aire exterior és molt baixa, però la seva eficiència es perd amb temperatures elevades.

2.3.1.2.2. Pantalla evaporadora

Es tracta d'una pantalla de material porós que es satura d'aigua per mitjà d'un equip de reg. La pantalla es situa al llarg de tot el lateral o un frontal de l'hivernacle. En l'extrem oposat s'instal·len ventiladors elèctrics. L'aire passa a través de la pantalla porosa, absorbeix humitat i baixa la seva temperatura. Posteriorment és expulsat pels ventiladors.

Amb aquest sistema la temperatura pot reduir-se en uns 10° C, encara que el normal és que aquest descens sigui de 4-6° C. Si la humitat relativa de l'exterior és elevada aquest sistema no funciona convenientment.

2.3.2. Sistema de calefacció

Els sistemes de calefacció utilitzats per aportar calor als hivernacles, bàsicament són per convecció o per conducció. Els sistemes per convecció escalfen i distribueixen l'aire interior de l'hivernacle i els de conducció localitzen la distribució de l'aire calent a nivell del substrat del cultiu.

Els diferents sistemes de calefacció per convecció més utilitzats es poden classificar segons utilitzin aigua calenta o aire calent.

Sistemes per aigua calenta:

- Canonades aèries d'aigua calenta.
- Canonades sobre el mitjà de cultiu.
- Aeroterms.
- Canonades enterrades.
- Banquetes.

Sistemes per aire calent:

- Generadors d'aire calent de combustió directa i indirecta.
- Generadors i distribució de l'aire en mànigues de polietilè.

2.3.2.1. Sistemes de calefacció de l'aire interior

2.3.2.1.1. Calefacció a partir d'aire calent

Són sistemes en els quals l'element conductor de la calor és l'aire. A causa de la seva poca inèrcia, proporcionen un augment ràpid de la temperatura de l'aire, refredant-se d'igual forma al deixar d'actuar. Generen importants gradients tèrmics i pèrdues de calor a l'anar localitzats, normalment, sobre el cultiu.

Uns dels sistemes més coneguts són els generadors d'aire calent per combustió directa i indirecta. Els primers, incorporen al hivernacle tant l'aire calent com els gasos de combustió i tenen un rendiment del 100%. Els de combustió indirecta, mitjançant un intercanviador de calor, separen els gasos de combustió i els expulsen al exterior, introduint al hivernacle únicament l'aire calent. Aquests tenen un rendiment del 80%.



Fig. 2.2 Combustió indirecta (mànigues de polietilè)



Fig. 2.3 Combustió directa (Canó)

2.3.2.1.2. Calefacció a partir d'aigua calenta

A banda dels generadors d'aire, un altre dels sistemes de convecció més utilitzat és el de canonades, aèries o disposades a un 10 cm sobre el cultiu, per on circula aigua calenta a altes (fins 90°C) o baixes temperatures (entre 30-50°C) en funció del material utilitzat i la seva disposició.



Fig. 2.4 Sistema d'aigua calenta per canonades de ferro

Aquests sistemes distribueixen la calor de manera més uniforme que els generadors d'aire però tenen un cost més elevat

2.3.2.2. Sistemes de calefacció del substrat

Aquests sistemes estan dissenyats per proporcionar una temperatura adequada en la zona radicular. Un dels objectius de la calefacció del sòl és utilitzar, indirectament, la superfície d'intercanvi amb l'aire que ofereix el sòl de l'hivernacle, sent aquesta superior a la dels sistemes de calefacció aeris.

La dificultat d'incorporar al sòl els intercanviadors i la limitació que provoquen als treballs del sòl, va reduir la seva expansió com sistema de calor. No obstant, la incorporació dels substrats com a mitjà de cultiu, ha facilitat la localització dels intercanviadors de calor, sota els substrats.

2.3.3. Sistema d'humidificació

Com s'ha vist en l'apartat 2.1, en situacions on la humitat relativa és molt baixa, les plantes poden patir greus problemes. Per solucionar aquest problema bàsicament s'utilitzen nebulitzadors.

Els nebulitzadors són uns aparells que treballen a alta pressió i que mitjançant petits difusors vaporitzen aigua.



Fig. 2.5 Nebulitzador

2.3.4. Sistema d'il·luminació artificial

Com s'ha vist anteriorment, en certes ocasions és necessari utilitzar il·luminació artificial o simplement regular la il·luminació natural a l'interior de l'hivernacle per millorar les condicions del cultiu.

Per aconseguir crear llum artificial s'utilitzen làmpades. Com les de la següent figura.



Fig. 2.6 Làmpada per il·luminació artificial

En la següent taula es mostren els tipus i les seves característiques:

Taula 2.1 Tipus de làmpades [3]

Tipus/ Característiques	Incandescents	Vapor de mercuri	Incandescents i vapor de mercuri	Fluorescents
Llum produïda	Vermell	Visible i Ultraviolat	Mixta	Mixta amb blau i vermell
Potència (W/m ²)	3	150-200	-	-
Rendiment lumínic (%)	10	90	30	90
Duració (hores)	1000	3500	2000	3500
Aplicació	Avançament o endarreriment de la floració	Creixement de les plantes	Avançament de la floració	Creixement de les plantes

2.3.5. Sistema d'enriquiment carbònic

Un dels sistemes més coneguts d'enriquiment carbònic és el sistema per combustió, de diferents substàncies, com alcohol, parafina, propà, petroli, etc. En aquest cas la formulació de CO_2 va acompanyada del desprendiment de calor, amb el que es pot, a més, elevar la temperatura de l'hivernacle. El major inconvenient d'aquest sistema, és l'emanació, al costat del CO_2 , de substàncies sulfuroses, que poden ser tòxiques per a les plantes.

L'altre sistema, també molt emprat és l'aportació directa de gas pur en bombones de CO_2 .



Fig. 2.7 Cubell i bomba de CO_2 pur

Un altre manera d'aportar CO_2 directament és a través de neu carbònica els blocs de la qual, es distribuïxen al llarg de l'hivernacle, i poc a poc es va sublimant.

2.3.6. Sistema de reg i fertilització

Els sistemes de reg de superfície, principalment per solcs, tradicionalment utilitzats en hivernacles, avui dia estan en desús. Igualment, la utilització de sistemes de microaspersió ha decaïgut, sent els diversos sistemes de reg localitzat d'alta freqüència (degoteig, exsudació, ...) els que avui dia s'han generalitzat. Els components principals d'un sistema de reg localitzat són: capçal de reg i fertilitzat, canonades principals i derivades, ramificacions de reg i emissors o difusors. Les canonades principals i derivades condueixen l'aigua a les ramificacions laterals de reg, les quals es connecten als difusors, a través dels quals s'aporta l'aigua i els fertilitzants al sòl o substrat. [2]

L'objectiu final de qualsevol sistema desenvolupat pel control de la fertirrigació consisteix a subministrar aigua i fertilitzants en la quantitat i freqüència requerides, de manera que s'optimitzi l'aprofitament dels mateixos i evitant situacions d'estrès que afectin negativament al cultiu.

Els sistemes més evolucionats es basen en el mesurament de factors ambientals o del mitjà en el qual es desenvolupa el cultiu per determinar la freqüència i durada del reg. D'altra banda, es basen en l'aplicació de solucions

nutritives completes, la composició de les quals varien segons el cultiu, estat de desenvolupament, cicle i fins i tot condicions ambientals. [7]

2.3.6.1. *Cultius al sòl*

Els sistemes de reg en cultius al sòl es basen en el següents mètodes: [3]

- Mesura del contingut d'aigua al sòl
- Mesura de l'estat hídric de la planta
- Mesura de paràmetres climàtics

2.3.6.1.1. *Mètodes basats en la mesura del contingut d'aigua al sòl*

Aquests mètodes utilitzen sensors que mesuren el contingut d'aigua al sòl per tal de mantenir un nivell d'aigua entre dos nivells d'humitat.

Els sensors més utilitzats són:

- Tensiòmetres. Mesuren l'esforç que fan les arrels per extreure la humitat del sòl.
- TDR. Mesuren el temps de recorregut d'un impuls electromagnètic, que varia amb el contingut d'aigua al sòl.
- EnviroScan. Mesuren el contingut d'aigua al sòl a diferents profunditats.
- Sbib. Mesuren la humitat, la conductivitat elèctrica i la temperatura del sòl.



Fig. 2.8 Tensiòmetre



Fig. 2.9 Sensor Sbib

2.3.6.1.2. *Mètodes basats en la mesura de l'estat hídric de la planta*

Aquests mètodes, utilitzen tècniques que mesuren directament el consum d'aigua d'una part de la planta o de la planta sencera. També mesuren característiques rellevants de les plantes que faciliten l'estimació de la transpiració.

El sensors més utilitzats per aquests mètodes són:

- Sensors de mesura del diàmetre dels òrgans de la planta. Mesuren les microvariacions del diàmetre de les tiges o els fruits.

- Sensors de flux de saba. Mesuren el flux de saba de la planta el qual mostra la seva transpiració.



Fig. 2.10 Diàmetre del fruit



Fig. 2.11 Sensor flux de saba

2.3.6.1.3. *Mètodes basats en els paràmetres climàtics*

Aquests mètodes es basen en la utilització dels paràmetres climàtics. Són els més utilitzats perquè fan servir paràmetres més estables i més generals (no tant locals com els anteriors) per àrees relativament grans. A partir de relacions entre aquests paràmetres i el desenvolupament de les plantes, és possible estimar el volum d'aigua consumit pel cultiu.

2.3.6.2. *Adaptació als cultius hidropònics*

La gran majoria de sistemes de fertirrigació (reg i fertilització) es basen en el control de la conductivitat elèctrica i del pH per regular la dosificació de fertilitzants, i en el control del tant per cent d'aigua drenada pel reg.

Aquests sistemes estan compostats pels següents elements:

- Sonde de pH i de conductivitat elèctrica. Aquestes sonde s'encarreguen de mesurar el pH i la conductivitat elèctrica de la solució (fertilitzants i aigua) que s'aplicarà al cultiu.
- Recipient de drenatge. S'utilitza per mesurar la quantitat d'aigua drenada pel cultiu i així calcular el % de retenció d'humitat.
- Tanc de barreja. En aquest tanc es on es barregen els fertilitzants líquids i l'aigua per la seva posterior dosificació.
- Electrobomba d'extracció. Aquesta bomba es l'encarregada de bombejar la solució d'aigua i fertilitzants cap als conductes de distribució.
- Dosificadors. S'utilitzen per controlar la quantitat de fertilitzants i aigua incorporats al tanc de barreja.



Fig. 2.12 Sonda de pH/CE



Fig. 2.13 Recipient de drenatge

CAPÍTOL 3. SOLUCIÓ TÉCNICA

En aquest capítol es farà el disseny d'un sistema de baix cost que permeti controlar i automatitzar les operacions d'accionament dels equips de climatització, reg i fertilització de cultius hidropònics en hivernacles domèstics.

Aquest sistema estarà format per sensors que mesuraran les variables desitjades, per un sistema d'adquisició de dades que mitjançant un programa software processarà aquestes dades i activarà, quan sigui necessari, els actuadors adients per tal de modificar algun dels paràmetres del cultiu.

Pel tipus d'hivernacle al que estarà destinat aquest sistema, s'ha decidit que aquest tingui els següents sensors de control:

- 1 sensor de temperatura. Mesurarà la temperatura de l'hivernacle.
- 1 sensor d'humitat relativa. Mesurarà la humitat relativa interior.
- 1 sensor de radiació solar. Mesurarà la radiació solar.
- 1 Anemòmetre. Mesurarà la velocitat del vent.
- 2 sensors de nivell. Mesuraran la quantitat de solució mare.
- 1 recipient de drenatge. Mesurarà el % de drenatge del cultiu.
- 1 sensor de CE. Mesurarà la conductivitat elèctrica de l'aigua drenada.

La següent figura mostra, de manera esquemàtica, com quedaria el sistema final:

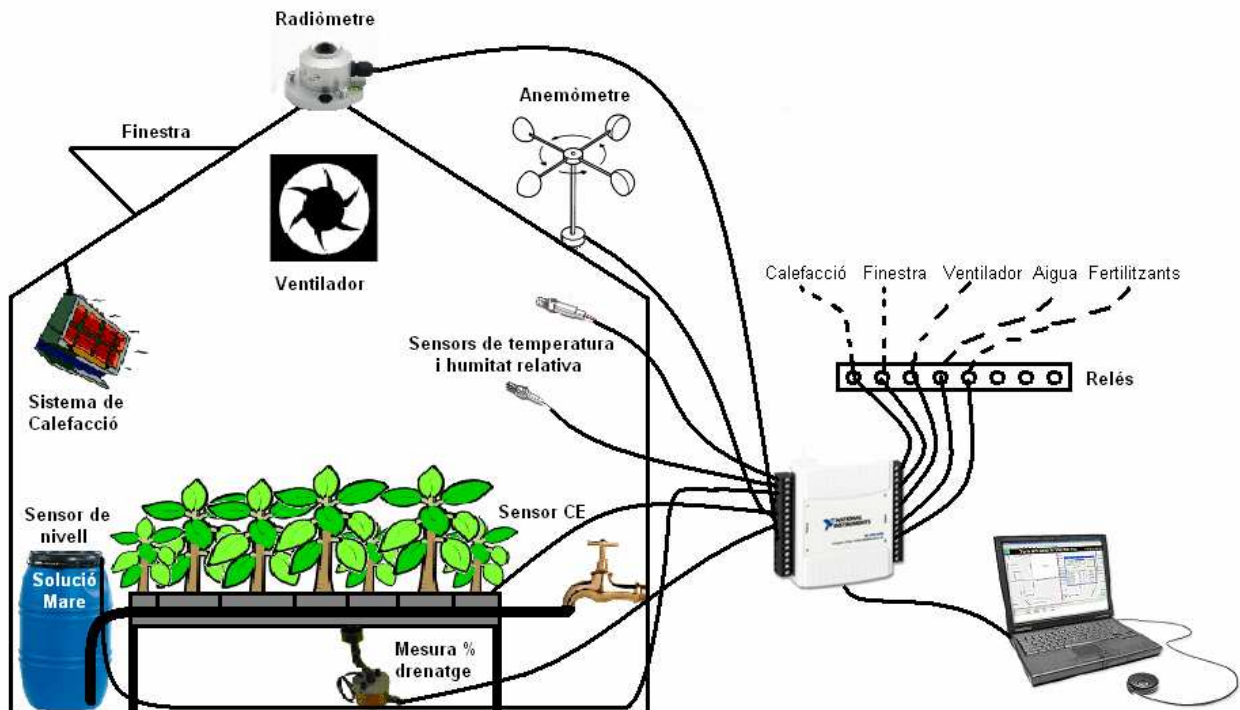


Fig. 3.1 Esquema sistema de control i automatització

3.1 Solucions existents

Al mercat, existeixen moltes solucions comercials que realitzen funcions similars al sistema que es vol dissenyar. No obstant, els fabricants no ofereixen solucions completament integrades. Per una banda, ofereixen sistemes pel control climàtic, i per l'altre, sistemes pel control del reg i fertilització.

D'altra banda, el problema general de totes aquestes solucions és que tenen un cost molt elevat, ja que estan pensades exclusivament per instal·lacions agrícoles professionals molt extenses. A més, tots aquests sistemes de control, obliguen a l'usuari a utilitzar els seus propis sensors, els quals tenen preus molt per sobre del seu cost de fabricació.

Un altre dels problemes que presenten les solucions comercials existents, és que totes utilitzen softwares de control propietaris i tancats, i per tant, l'usuari final desconeix quins són els algorismes que fan activar o desactivar els equips dels hivernacles.

En la següent taula es mostren algunes de les solucions comercials existents.

Taula 3.1 Sistemes de control climàtic comercials

Model/ Característiques	Growmaster PROCOM	AutoClimate Controller	IntelliDose	FertiMIX 600
Fabricant	Micro Grow	Autogrow Sistems Ltd	Autogrow Sistems Ltd	HortiMax
Requereix ordinador	Si	Si	Si	No
Inclou software	Si	Si	Si	-
Temperatura aire interior	Si	Si	-	-
Temp. del agua	Opcional	No	-	-
Humitat interior	Si	Si	-	-
Radiació solar	Si	Opcional	-	-
Nivell de CO₂	Opcional	Opcional	-	-
Temp. del sòl	Opcional	No	-	-
Humitat exterior	Opcional	No	-	-
Vel. del vent	No	No	-	-
Relés incorporats	Si	No	-	-
Control pH	-	-	Opcional	-
Control CE	-	-	Opcional	Si
Control % drenatge	-	-	No	Si
Control del reg	-	-	Si	Si
Control de fertilitzants	-	-	Si	Si
Consulta WEB	Si	Si	No	No
Preu TOTAL (€)	4240	2513	1600	2790
Referència	[11]	[12]	[13]	[14]

3.2 Sistema d'adquisició de dades

L'adquisició de dades és el procés d'obtenir o generar informació de manera automatitzada des de recursos de mesures analògiques i digitals com sensors i dispositius sota prova. Els sistemes d'adquisició de dades (DAQ, del anglès Data Adquisition) utilitzen una combinació de maquinari i programari basats en PC per obtenir un sistema de mesura flexible i definit per l'usuari. Sovint, les senyals de sortida dels sensors s'han de condicionar per tal d'adaptar-les als marges d'entrada del DAQ.

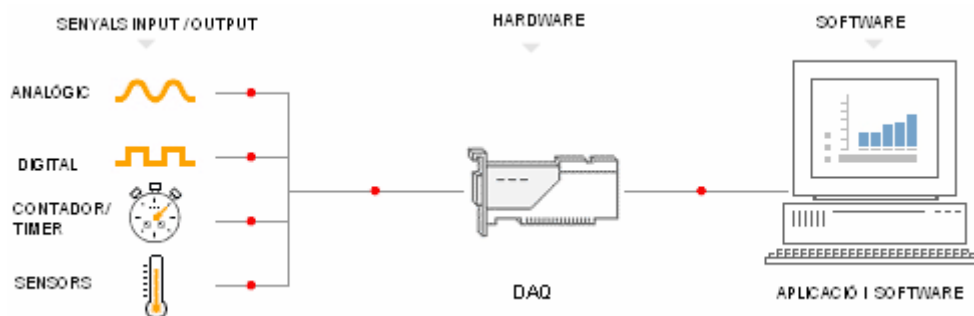


Fig. 3.2 Sistema d'adquisició de dades basat en PC

Al mercat, existeixen molts tipus de DAQ. La principal diferència entre ells, a banda de les prestacions tècniques, és el format físic amb el qual es comuniquen amb el PC (Ethernet, PCI, PCMCIA, FireWire, USB, SCC, etc.).

Pel disseny del nostre sistema de control i automatització d'un petit hivernacle hidropònic, s'utilitzarà un DAQ USB. S'ha escollit aquest format físic per la seva portabilitat, compatibilitat, senzillesa (Plug & Play) i baix cost.

3.2.1 Models comercials

En la següent taula es fa una comparativa d'algun dels models DAQ-USB de baix cost que existeixen al mercat.

Taula 3.2 DAQ USB comercials

Model/ Característiques	USB-6008	KUSB-3100	USB-9812-10V	DT9812-10V
Fabricant	NI	Kingston	SuperLogics	Datatrasslation
Canals analògics I/O	8 Input / 2 Output	8 Input / 2 Output	8 Input / 2 Output	8 Input / 2 Output
Canals digitals I/O	12 Input/Output	8 Input / 8 Output	8 Input / 8 Output	16 Input/Output
Resolució (bits)	12	12	12	12
Guany	1, 1,25, 2, 2,5, 4, 5, 10, 20	1, 2, 4, 8	1, 2, 4, 8	1, 2, 4, 8
Marge Sortida Canals Digitals (V)	0,8 a 5	0,6 a 2,8	0,6 a 2,8	0,6 a 2,8

Marge Entrada Canals Analògics (V)	$\pm 20, \pm 10, \pm 5, \pm 4, \pm 2,5, \pm 2, \pm 1,25, \pm 1$	$\pm 10, \pm 5, \pm 2,5, \pm 1,25$	$\pm 10, \pm 5, \pm 2,5, \pm 1,25$	$\pm 10, \pm 5, \pm 2,5, \pm 1,25$
Exactitud del sistema (accuracy)	G=1, Acc=0.04% G=1,25, Acc=0.04% G=2, Acc=0.04% G=2,5, Acc=0.04% G=4, Acc=0.05% G=5, Acc=0.06% G=10, Acc=0.07% G=20, Acc=0.08%	G=1, Acc = 0.04% G=2, Acc = 0.06% G=4, Acc = 0.08% G=8, Acc = 0.15%	G=1, Acc = 0.04% G=2, Acc = 0.06% G=4, Acc = 0.08% G=8, Acc = 0.10%	G=1, Acc = 0.04% G=2, Acc = 0.06% G=4, Acc = 0.08% G=8, Acc = 0.15%
Nolinearietat	-	0,05 %	0,05 %	0,05 %
Error de quantificació	0,3 LSB (Marge ± 10)	1 LSB	1 LSB	1 LSB
Impedància d'entrada	144K Ω	Canals Off: 10M Ω , 10pf Canals On: 10M Ω , 100pf	10M Ω , 10pf	Canals Off: 10M Ω , 10pf Canals On: 10M Ω , 100pf
Referència (V)	2,5, 5	2,5	2,5	2,5
Preu (€)	149	240	240	240
Referència	[15]	[16]	[17]	[18]

3.2.2 DAQ escollit

Com es pot veure en la taula anterior, pràcticament els quatre models comparteixen les mateixes característiques tècniques.

El model escollit pel disseny del sistema de control i automatització és el USB-6008 de National Instruments.



Fig. 3.3 USB-6008

A diferència dels altres, el model de NI pot obtenir un voltatge de sortida en els canals digitals més gran que la resta i això pot ser un punt important a l'hora

d'activar els relés. A més, aquest model és el més econòmic de tots i aquest és el factor més important en aquest disseny ja que l'objectiu és obtenir una solució de baix cost per petits hivernacles domèstics.

3.3 Sensors

En aquest apartat es farà un estudi de les diferents tecnologies existents per cada sensor i s'escollirà el més adient en cada cas. Posteriorment es dissenyarà (sempre i quant calgui) el circuit d'acondicionament necessari per tal d'adaptar els senyals de sortida dels sensors al sistema d'adquisició de dades.

Per tal de poder distribuir de manera còmoda tots els sensors dins de l'hivernacle, aquests hauran de tenir un cable amb una longitud de 10 metres.

L'alimentació que rebran tots els sensors serà de 5V que s'extrauran directament del DAQ, i per tant, s'hauran d'utilitzar amplificadors rail-to-rail que no requereixen voltatges negatius. Això farà que els senyals de sortida dels sensors s'acondicionin per tal d'obtenir un marge de sortida de 0 a 5V.

3.3.1 Sensor de temperatura

El sensor de temperatura s'utilitzarà per mesurar la temperatura interior de l'hivernacle, i aquest haurà de poder mesurar un rang de temperatures de -20 a 60°C amb una exactitud de 0,5 a 1°C i una resolució de 0,1°C.

3.3.1.1 Tipus de sensor

Actualment existeixen varies tècniques per mesurar la temperatura. Les més comuns són les següents:

Termoparells

Un termoparell és un dispositiu format per la unió de dos metalls diferents que produeix un voltatge (efecte Seebeck), que és funció de la diferència de temperatura entre un dels extrems denominat "punt calent" i l'altre denominat "punt fred" o de referència. Aquests tipus de sensors són econòmics, intercanviables, tenen connectors estàndard i són capaços de mesurar un ampli rang de temperatures però el voltatge generat per la unió no és linealment dependent de la temperatura. La seva principal limitació és l'exactitud ja que els errors del sistema inferiors a un grau centígrad són difícils d'obtenir. Existeixen molts tipus de termoparells segons els materials amb el que estan formades les unions. [19][20]

Termistors

Els termistors són semiconductors que varien el valor de la seva resistència elèctrica en funció de la temperatura. Existeixen dues classes de termistors: NTC i PTC.

Un Termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) és una resistència variable el valor de la qual va decreixent a mesura que augmenta la temperatura. Un termistor PTC (Positive Temperature Coefficient) és una resistència variable el valor de la qual es veu augmentat a mesura que augmenta la temperatura. El termistor PTC perd les seves propietats i pot comportar-se eventualment d'una forma similar al termistor NTC si la temperatura arriba a ser massa alta. [21]

Sensors de temperatura resistius (RTDs)

Els detectors de temperatura resistius o RTDs, són dispositius que aprofiten l'efecte que té la temperatura en la conducció dels electrons per que, davant un augment de la temperatura, hi hagi un augment de la resistència elèctrica que presenten. Els RDTs tenen una sortida estable, són fàcils de calibrar i tenen bona precisió. El principal inconvenient enfront als termoparells és que poden treballar en un rang de temperatures més petit i tenen un cost inicial més elevat. [22]

Sensors de temperatura de silici (ICs)

Els sensors de temperatura ICs són els més comuns de tots per la seva utilització en equips electrònics. El seu principal avantatge és el seu baix cost i la seva sortida en voltatge linealment dependent de la temperatura.

El seu principal inconvenient és el temps de resposta i la estabilitat. [23]

Sensors de temperatura infrarojos

Els sensors de temperatura infrarojos mesuren la temperatura a distància detectant la quantitat de radiació electromagnètica termal emesa cap al sensor.





El disseny més bàsic consta d'una lent per centrar l'energia infraroja cap un detector, que converteix l'energia en un senyal elèctric que es pot mostrar en unitats de temperatura després de ser compensat per la variació de la temperatura ambiental. Aquesta configuració facilita el càlcul de la temperatura d'un objecte llunyà sense contacte. Com a tal, el termòmetre infraroig és útil per mesurar temperatures en circumstàncies on no es poden utilitzar altres tipus de sensors.

Un cop vistes les diferents tecnologies per mesurar la temperatura es pot dir que les dues que més s'adapten al requeriments de l'aplicació són els sensors de temperatura de tipus termistors i els de tipus silici (IC) ja que són de baix cost i proporcionen una sortida proporcional a la temperatura en resistència i voltatge respectivament. [24]

3.3.1.2 Sensors comercials

La següent taula mostra una comparativa d'alguns dels sensors de temperatura comercials.

Taula 3.3 Sensors de temperatura comercials

Model	PS602J2	TRS-0805	MAX-6501 to 6504	LM35CAZ
Fabricant	U.S. Sensor	Willow Technologies	Dallas Semiconductor	National Semiconductor
Tipus de sensor	Termistor NTC	Termistor PTC	IC	IC
Temperatura (Rang típic)	-80 a 150°C	-55 a 125°C	-45 a 125°C	-40 a 110°C
Exactitud	$\pm 0,1^\circ$ $\pm 0,2^\circ\text{C}$ des de 0-70°C	$\pm 0,5/1/5\%$	$\pm 0,5^\circ\text{C}$ (típic) $\pm 6^\circ\text{C}$ (màxim)	0,5°C a 25°C
Alimentació (Vdc)	-	-	2,7 a 5,5	4 a 30
Sortida	NTC Resistència	PTC Resistència	Voltatge	Voltatge
Linealitat	Exponencial	Exponencial	Lineal	Lineal
Preu (€)	1,56	2,98	1,54	2,44
Imatge				
Referència	[25]	[26]	[27]	[28]

3.3.1.3 Sensor escollit

Per la mesura de la temperatura interior de l'hivernacle, s'ha escollit el sensor LM35CAZ. S'ha escollit aquest sensor per la seva sortida en voltatge i lineal i per la seva exactitud. A més, el sensor LM35 (en totes les seves variants) és un dels sensors més comuns del mercat i que més s'utilitza.

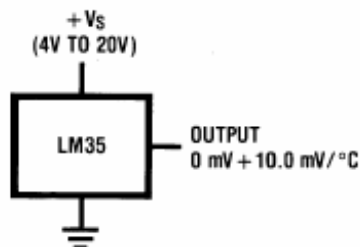


Fig. 3.4 LM35CAZ

Com es pot veure en la imatge anterior, a 0°C el sensor té una sortida de 0V i aquesta augmenta o descendeix 10mV/°C quant la temperatura puja o baixa respectivament.

3.3.1.4 Acondicionament del senyal

El marge d'entrada del DAQ és de -5 a 5V, però la senyal de sortida del sensor anirà de 0 a 5V (ja que s'utilitzaran amplificadors rail-to-rail per tal d'utilitzar l'alimentació proporcionada pel DAQ) i per tant, es perd un bit de resolució al DAQ.

S'ha de veure si el DAQ, només utilitzant 11 bits, dona una resolució prou alta com per detectar canvis de 0,1°C:

$$Resolució = \frac{(60 - (-20))^{\circ}C}{2^{11}} = 0,039^{\circ}C$$

La resolució desitjada pel sensor de temperatura és de 0,1°C i el DAQ (amb 11 bits) ofereix una resolució de 0,039°C per tant no hi ha cap problema en perdre 1 bit.

Per tal d'adaptar el senyal de sortida del sensor al DAQ (de 0 a 5V) se l'hi ha d'aplicar un offset i una amplificació.

Offset

És necessari aplicar un offset per tal de centrar la senyal del sensor en l'interval de 0 a 5V. Com que es vol que a -20°C la sortida correspongui a 0V s'ha d'aplicar un offset de +200mV.

Amplificació

Per tal d'obtenir una senyal de 0 a 5V, després d'aplicar l'offset aquesta s'ha d'amplificar.

$$G = \frac{(5 - 0)V}{(0.6 - (-0.2))V} = 6.25$$

3.3.1.5 Model electrònic

El model electrònic implementat per tal d'adaptar el senyal del sensor al DAQ és el següent.

3.3.2.1 *Tipus de sensor*

Al mercat podem trobar diferents tipus de sensors d'humitat depenent de la tecnologia en la que es basen pel seu funcionament. Cada tecnologia ofereix avantatges diferents i en la majoria dels casos, les condicions ambientals marquen la elecció d'un o un altre. Els tipus de sensors més comuns són:
[29]

Sensors d'humitat resistius

Els sensors d'humitat resistius mesuren el canvi d'impedància elèctrica d'un medi higroscòpic com un polímer conductiu, sal, o substrat tractat.

Els sensors resistius normalment consten d'elèctrodes de metall nobles dipositats en un substrat per tècniques de fotoresistència o elèctrodes de cable enrotllats en un plàstic o cilindre de got. Aquests sensors absorbeixen el vapor d'aigua i els grups funcionals iònics es dissocien, ocasionant un augment en la conductivitat elèctrica i per tant en la resistència. El temps de resposta per la majoria dels sensors resistius s'estén de les 10 a 30 segons per a un canvi d'humitat relativa d'un 63%. La gamma d'impedància d'elements resistius típics varia d'1 k Ω a 100 M Ω .

En ambients residencials i comercials, l'esperança de vida d'aquest tipus de sensors és de més de 5 anys, però l'exposició a vapors químics o altres contaminants poden conduir a una fallada prematura. Un altre desavantatge d'alguns sensors resistius és la seva tendència a canviar de valor quan s'exposen a condensacions si s'utilitza una capa d'aigua soluble. Els sensors d'humitat resistius requereixen compensació en temperatura en ambients amb fluctuacions altes (>10°C).

La seva petita mida, baix cost, intervariabilitat i estabilitat a llarg termini fan aquests tipus de sensors adequats per l'ús en productes de control i exhibició per aplicacions industrials, comercials i residencials.

Sensors d'humitat capacitius

Els sensors d'humitat capacitius consten d'un substrat en el qual una pel·lícula prima d'òxid de polímer o metall es diposita entre dos elèctrodes conductius. La superfície de detecció es cobreix amb un elèctrode de metall porós per protegir-lo de la contaminació i exposició a la condensació. El canvi incremental a la constant dielèctrica d'un sensor d'humitat capacitiu és gairebé directament proporcional a la humitat relativa de l'ambient circumdant. Els sensors capacitius són caracteritzats per tenir un coeficient de temperatura baix, habilitat per funcionar a temperatures altes (fins a 200°C), plena recuperació de la condensació i resistència raonable a vapors químics. El seu temps de resposta s'estén de 30 a 60 segons per a un canvi d'humitat relativa d'un 63%. Per tal d'evitar els efectes capacitius dels cables, el circuit d'acondicionament d'aquest tipus de sensors a d'estar aprop del sensor. Els sensors d'humitat capacitius són de baix cost i mida petita.

Sensors d'humitat de conductivitat tèrmics

Al contrari que els dos tipus de sensors anteriors, els sensors d'humitat de conductivitat tèrmics, mesuren la humitat absoluta quantificant la diferència entre la conductivitat tèrmica del aire sec i la de l'aire que conté el vapor d'aigua.

Els sensors d'humitat de conductivitat tèrmics (o sensors d'humitat absoluts) consten de dos termistors NTCs en un circuit de ponts on un està recollit hermèticament en nitrogen sec i l'altre està exposat a l'ambient.

Quan el corrent es passa a través dels termistors, l'escalfament resistiu augmenta la seva temperatura fins a més de 200°C. La calor dissipada del termistor impermeabilitzat és més gran que la del termistor exposat a causa de la diferència en la conductivitat tèrmica del vapor d'aigua en comparació amb el nitrogen sec. Com que la calor dissipada produeix temperatures operatives diferents, la diferència en resistència dels termistors és proporcional a la humitat absoluta.

En general, els sensors d'humitat absoluta proporcionen una millor resolució a temperatures de més de 200°C que els sensors resistius i capacitius i poden ser utilitats en aplicacions on aquests sensors no sobreviuen.





Un cop vistes les diferents tecnologies per mesurar la humitat relativa es poden descartar els sensors de conductivitat tèrmica ja que aquests mesuren la humitat absoluta. En quant als sensors resistius i capacitius, val a dir que per les seves característiques tots dos són apropiats per l'ús que s'els vol donar. La decisió d'escollir un tipus o un altre vindrà donada pels productes que es trobin al mercat i per la relació característiques/preu que ofereixin.

3.3.2.2 Sensors comercials

La següent taula mostra una comparativa d'alguns dels sensors d'humitat relativa comercials.

Taula 3.4 Sensors d'humitat relativa comercials

Model	HS1100/HS1101	2381 691 90001	808H5V5	HIH - 4000 series
Fabricant	Humirel	Vishay	Sencera Co. Ltd.	Honeywell
Tipus	Capacitiu	Capacitiu	Capacitiu	Resistiu
Rang (%HR)	1 a 99	10 a 90	0 a 100	0 a 100
Exactitud (%HR)	±2	±5	±4	±3.5
Temps de resposta (s)	5	<180	<15	15
Rang de Temperatura (°C)	-40 a 100	0 a 85	-40 a 85	-40 a 85

Alimentació (Vdc)	5	15	5	4 a 5,8
Sortida lineal	No	No	Si	Si
Preu (€)	14	10	5,5	14
Imatge				
Referència	[30]	[31]	[32]	[33]

3.3.2.3 Sensor escollit

Per la mesura de la humitat relativa de l'hivernacle s'ha escollit el sensor 808H5V5. S'ha escollit aquest sensor perquè incorpora un circuit intern per tal que la seva sortida sigui en tensió i lineal, s'alimenta amb 5V i és el més econòmic dels quatre.

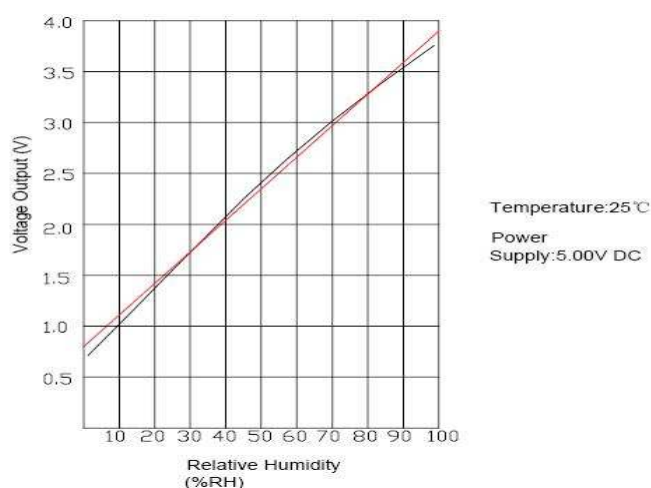


Fig. 3.6 Sortida 808H5V5

Com es pot veure en la figura anterior, la sortida del sensor va de 0,8V, per 0%HR, a 3,9V per un 100%HR.

3.3.2.4 Acondicionament del senyal

Tal i com es configurarà el DAQ, aquest oferirà 4096 nivells de resolució (12bits) en el marge d'entrada de -5 a 5V (10V). El sensor d'humitat només necessita 100 nivells de resolució (7bits) pel rang de 0,8 a 3,9V (3,1V), per tant, en aquest cas no es necessari adaptar la senyal de sortida del sensor al DAQ. La sortida del sensor serà connectada directament a l'entrada del DAQ.

L'equació teòrica que utilitzarà el DAQ per determinar la humitat relativa a partir del voltatge de sortida del sensor serà:

$$HR(\%) = \frac{V_{out} - 0,8V}{0,031}$$

3.3.3 Sensor radiació solar

Per tal de poder mesurar la radiació solar a la que estarà exposat l'hivernacle (i per tant les plantes), s'utilitzarà un sensor de radiació solar que anirà col·locat al sostre d'aquest per la part exterior.

El sensor de radiació solar ha de poder mesurar en el rang de 0 a 2000W/m², tenir una exactitud mínima de ±5% i poder detectar canvis de 1 W/m².

3.3.3.1 Tipus de sensor

Al mercat podem trobar diferents tipus de sensors per mesurar la radiació solar. Els tipus de sensors més comuns són: [34]

Piranòmetre

És l'instrument més utilitzat en la mesura de la radiació solar. Mesura la radiació semiesfèrica directa i difusa (global) que es mesura sobre una superfície horitzontal en un angle de 180 graus, obtinguda a través de la diferència d'escalfament de dos sectors pintats alternativament de blanc i negre en un petit disc pla. Quan l'aparell és exposat a la radiació solar, els sectors negres es tornen més càlids que els blancs. Aquesta diferència de temperatura es pot detectar electrònicament generant-se un voltatge elèctric proporcional a la radiació solar incident. En la variació de la temperatura pot intervenir el vent, la pluja i les pèrdues tèrmiques de la radiació a l'ambient. Per tant, el piranòmetre té instal·lat una cúpula de vidre òptic transparent que protegeix el detector, permet la transmissió isòtropa del component solar i serveix per filtrar la radiació entre les longituds d'ona que oscil·len aproximadament entre 280 i 2.800 nanòmetres. Un piranòmetre condicionat amb una banda o disc para-sol, que suprimeix la radiació directa, pot mesurar la radiació difusa.

Existeixen diverses classes de piranòmetres, els quals són classificats en patrons secundaris, de primera i segona classe. Generalment els de primera classe i els patrons secundaris empen una termopila com a element de detecció. Els de segona classe empen típicament les fotocèl·lules com l'element de detecció, són menys costosos que els altres tipus de piranòmetres, però la resposta espectral del piranòmetre fotovoltaic es limita a l'espectre visible.

Pirheliòmetres

Són instruments usats per al mesurament de la radiació solar directa. Això s'aconsegueix col·locant el sensor normalment en el focus solar, bé manualment o bé sobre un muntatge equatorial. Existeixen dos tipus segons si són primaris (o de cavitat absoluta) o secundaris.

I. Pirheliòmetre de Cavitat Absoluta. L'instrument té dues cavitats còniques idèntiques, una externa, que s'escalfa en estar exposada a la radiació solar, mentre l'altra cavitat, oculta en l'interior de l'instrument, s'escalfa utilitzant energia elèctrica fins a obtenir una temperatura igual a la cavitat externa, assignant-se el valor de l'energia elèctrica consumida com el valor de la radiació solar incident.

II. Pirheliòmetres Secundaris. Són Instruments que mesuren la radiació solar directa, es calibren per comparació amb un pirheliòmetre de cavitat absoluta. Aquest instrument requereix d'un dispositiu que li permeti seguir el moviment del sol durant el seu trànsit diürn pel cel.

Actinògraf

És un instrument per registrar la radiació global que funciona mitjançant un sensor termomecànic, protegit per una cúpula en vidre. Està conformat per un arranjament bimetàl·lic de dues superfícies, una pintada de color negre perquè absorbeixi les ones electromagnètiques de la radiació solar i l'altra de blanc perquè les reflecteixi i així ocasionar diferència de temperatura que permet formar curvatura a la placa negra que s'amplifica per mitjà de palanques i es transmeten a un tambor mogut per un mecanisme de rellotge per descriure una gràfica que registra els valors de radiació global. La precisió dels valors de la radiació global que s'obtenen amb aquest instrument és de l'ordre de $\pm 8\%$. Aquests instruments requereixen d'un calibratge amb un patró secundari una vegada per any.

Radiòmetre net

El radiòmetre net, està dissenyat per mesurar la diferència entre la radiació ascendent i la descendent, a través d'una superfície horitzontal. L'aplicació bàsica d'un radiòmetre net és determinar la radiació diürna i nocturna com un indicador de l'estabilitat. Les categories d'estabilitat nocturnes generalment usades en els estudis de contaminació de l'aire es basen en la velocitat del vent, la radiació neta i l'aspecte del cel.

Heliògraf

És un instrument registrador que proporciona les hores de sol efectiu del dia (insolació o brillantor solar). Registra els períodes de temps de radiació solar directa que superen un valor mínim. Opera focalitzant la radiació solar mitjançant una esfera de vidre de lent convergent, en una cinta amb escala d'hores, que com a resultat de l'exposició a la radiació solar directa, es crema





formant línies, la longitud de les quals determina el nombre d'hores de brillantor del Sol.

Un cop revisats tots els tipus d'instruments que existeixen a mercat per detectar la radiació solar veiem que els que més s'adapten als nostres requeriments són els piranòmetres amb fotocèl·lules com l'element de detecció ja que són els que més s'utilitzen (i per tant hi ha una alta disponibilitat al mercat), cobreixen tota la radiació solar visible i són els més econòmics.

3.3.3.2 Sensors comercials

La següent taula mostra una comparativa d'alguns dels sensors de radiació solar comercials.

Taula 3.5 Sensors de radiació solar comercials

Model	SP LITE	CS300	SKS1110	SP440
Fabricant	Kipp Zonen	Apogee Instruments	Skie Instruments	Middleton
Tipus	piranòmetre	piranòmetre	piranòmetre	piranòmetre
Rang longitud d'ona (nm)	400 a 1100	300 a 1100	350 a 1100	500 a 900
Rang mesura (W/m^2)	0 a 2000	0 a 2000	0 a 5000	No especificat
Exactitud (%)	± 5	± 5	± 3	± 5
Temperatura d'operació ($^{\circ}C$)	-30 a 70	-40 a 55 $^{\circ}C$	-30 a 75	0 a 70
Humitat d'operació (%HR)	0 a 100	0 a 100	0 a 100	-
Alimentació (Vdc)	No requereix	No requereix	No requereix	No requereix
Sortida lineal	Si	Si	Si	Si
Tipus Sortida	tensió	tensió	tensió	corrent
Preu (€)	395	114	259	162
Imatge				
Referència	[35]	[36]	[37]	[38]

3.3.3.3 Sensor escollit

Per la mesura de la radiació solar s'ha escollit el sensor CS300 del fabricant Apogee Instruments. En primer lloc, s'ha escollit aquest sensor perquè reuneix tots els requisits desitjats i la seva sortida és en tensió. A més, aquest és el

més econòmic de tots i aquest factor és molt important en el disseny del nostre sistema de control de baix cost.

El sensor CS300 genera una tensió de sortida de $0,2 \text{ mV} / \text{Wm}^{-2}$, per tant, per 0 W/m^2 tindrà una sortida de 0 mV i per 2000 W/m^2 una de 400 mV .

3.3.3.4 Acondicionament del senyal

De la mateixa manera que amb el sensor de temperatura, el senyal de sortida del sensor de radiació solar s'acondicionarà per tal d'obtenir un senyal d'entrada al DAQ de 0 a 5 V . Com s'ha vist, aquest fet provoca la pèrdua d'un bit de resolució.

S'ha de veure si el DAQ, només utilitzant 11 bits, dona una resolució prou alta com per detectar canvis de 1 W/m^2 :

$$\text{Resolució} = \frac{(2000 - 0) \text{ W/m}^2}{2^{11}} = 0,9765 \text{ W/m}^2$$

La resolució desitjada pel sensor de radiació solar és de 1 W/m^2 i el DAQ (amb 11 bits) ofereix una resolució de $0,9765 \text{ W/m}^2$ per tant no hi ha cap problema en perdre 1 bit.

En aquest cas, per tal d'adaptar el senyal de sortida del sensor al DAQ (de 0 a 5 V) només s'ha d'aplicar una amplificació ja que aquest ja està centrat a 0 .

Amplificació

Per tal d'obtenir un senyal de 0 a 5 V , s'ha d'aplicar el següent guany.

$$G = \frac{(5 - 0) \text{ V}}{(0,4 - 0) \text{ V}} = 12,5$$

3.3.3.5 Model electrònic

Per tal d'implementar el model electrònic del sensor de radiació solar, només cal configurar un amplificador operacional en mode no inversor per tal d'obtenir un guany de $12,5$.

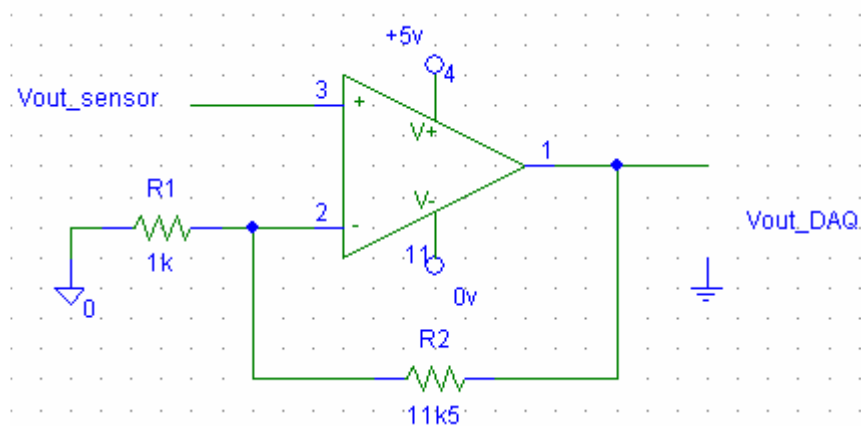


Fig. 3.7 Model electrònic sensor radiació solar

La sortida del amplificador es calcula com:

$$V_{out_DAQ} = V_{out_sensor} \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$

Per tant el guany serà:

$$G = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) = 12,5$$

Si es fixa $R_2 = 11,5 \text{ k}\Omega$, s'obté $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$

Com que s'han d'escollir resistències comercials (1% d'error), els valors reals seran:

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = (10 + 1,5) \text{ k}\Omega$$

L'equació teòrica que utilitzarà el DAQ per determinar la radiació solar a partir del voltatge de sortida del circuit d'acondicionament del sensor serà:

$$R(W / m^2) = \frac{V_{out}}{2,5 \cdot 10^{-3}}$$

3.3.4 Anemòmetre

Per tal de poder mesurar la velocitat del vent fora del hivernacle i així poder prendre la decisió d'obrir o tancar les finestres, s'utilitzarà un anemòmetre que anirà col·locat al sostre d'aquest per la part exterior.

L'anemòmetre ha de poder mesurar en el rang de 10 a 120 km/h i tenir una exactitud mínima de $\pm 5\%$.

3.3.4.1 *Tipus de sensor*

Al mercat podem trobar diferents tipus d'anemòmetres per mesurar la velocitat del vent. Els tipus d'anemòmetres més comuns són: [39][40]

Anemòmetre de cassoletes

L'anemòmetre de cassoletes és el més comú i econòmic de tots. Està compost per un eix en orientació vertical i tres cassoletes que absorbeixen i capturen el vent. La quantitat de revolucions per segon són capturades i registrades en forma electrònica per a poder dur un registre amb tots les dades a fi que totes les mesures siguin registrades i tinguin el major caràcter de precisió possible.

Anemòmetre de filament calent

Aquest tipus, s'utilitza per mesurar els canvis sobtats de la velocitat del vent, especialment en les turbulències. Consisteix en un fil de platí o níquel escalfat elèctricament on l'acció del vent té per efecte refredar-lo i fer variar així la seva resistència. D'aquesta manera, el corrent que travessa el fil és proporcional a la velocitat del vent.

Anemòmetre Làser de Doppler

Aquest anemòmetre utilitza un làser que és dividit i enviat a l'anemòmetre. La tornada del làser decau per la quantitat de molècules d'aire en el detector, on la diferència entre la radiació relativa del làser en l'anemòmetre i la tornada de radiació, són comparats per a determinar la velocitat de les molècules d'aire i per tant la velocitat del vent.

Anemòmetre ultrasònic

Aquests anemòmetres són els que tenen un cost més elevat. Utilitzen ones sonores ultrasòniques per mesurar velocitat i direcció del vent. Mesuren la velocitat del vent basada en el temps de vol dels polsos ultrasònics entre parells de transductors. Les mesures des de parells de transductors es poden combinar per produir una mesura de 1, 2 o 3 dimensions. La resolució espacial és donada per la distància entre els transductors, que típicament és de 10 a 20 cm. La manca de parts mecàniques fan que no tinguin cap mena de manteniment i siguin menys susceptibles a gelades. El seu principal desavantatge és la distorsió del flux generat per l'estructura que dona suport als transductors, que exigeix una correcció basada en càlculs de túnel de vent per tal de minimitzar l'efecte.

Per la seva senzillesa de funcionament i detecció de la velocitat del vent i pel seu baix cost, s'utilitzarà un anemòmetre de cassoletes.

3.3.4.2 Sensors comercials

La següent taula mostra una comparativa d'alguns dels sensors de vent comercials.

Taula 3.6 Anemòmetres comercials

Model	Wind Sensor	WS-MM-555	WE550	5050WS
Fabricant	VORTEX	AIC Co Pty Ltd	ENVCO	HydroLynx
Tipus	3 cassoles	3 cassoles	3 cassoles	3 cassoles
Marge velocitat (km/h)	~5 a 200	0 a 108	0 a 180	~3 a 165
Temps de resposta (seg.)	1	1	3	-
Exactitud (%)	±4	-	±4,5	±2
Temperatura d'operació(°C)	-	-	-40 a 55	-
Alimentació (Vdc)	No requereix	5 a 12	10 a 36	No requereix
Resolució	1pols/ 4,02Km/h	1pols/ 0,248Km/h	4 a 20mA	1pols/ 0,37Km/h
Tensió màxima de commutació	Interruptor de làmines magnètic (NO) 24Vac/Vdc	-	-	Interruptor de làmines magnètic (NO) 24Vac/Vdc
Cable (m)	8	20	25	10
Preu (€)	33	95	145	120
Imatge				
Referència	[41]	[42]	[43]	[44]

3.3.4.3 Sensor escollit

Per la mesura de la velocitat del vent s'ha escollit el sensor Wind Sensor del fabricant VORTEX. La principal raó per la que s'ha escollit aquest anemòmetre és pel seu preu ja que aquest és considerablement més econòmic que la resta.

Una altre de les característiques importants d'aquest sensor és que no requereix alimentació pel seu funcionament.

3.3.4.4 Acondicionament del senyal

Aquest sensor no requereix cap mena d'acondicionament de senyal ja que no genera una tensió o corrent en funció de la velocitat del vent.

El Wind Sensor es comporta com un interruptor que deixa passar una certa tensió d'entrada en funció de la posició de les seves copes. Per això, incorpora un interruptor de làmines magnètic en el seu interior que es troba normalment obert però que es tanca momentàniament cada cop que es realitza una rotació completa de les copes. En el nostre sistema, l'anemòmetre rebrà una tensió d'entrada de 5Vdc, de tal manera que, cada cop que hi hagi una rotació completa i per tant l'interruptor es tanqui, es generarà un pols d'amplitud 5 que el DAQ podrà detectar.

Les especificacions d'aquest sensor indiquen que per cada Hz es té una velocitat de 4,02km/h. Sabent que 1Hz equival a 1pols/segon, llegint la quantitat de polsos que arriben al DAQ en intervals d'un segon es podrà obtenir la velocitat del vent.

3.3.5 Sensor de nivell

Per tal de poder saber quan el tanc amb la solució mare de nutrients està buit s'utilitzaran sensors de nivell de líquid.

3.3.5.1 Tipus de sensor

Al mercat podem trobar diferents tipus de sensors de nivell per detectar la quantitat de líquid en un tanc. El càlcul de nivell tant pot ser continu com d'un sol punt. Els sensors de nivell continus mesuren nivell dins d'una gamma especificada i s'utilitzen per saber la quantitat exacta de líquid en un cert lloc i els sensors de nivell de punt només mesuren un nivell específic, generalment s'utilitzen per detectar alarmes de nivell alt o alarmes de nivell baix. Els tipus de sensors més comuns són: [45]

Sensor de nivell magnètic amb flotador

Els sensors de nivell magnètic amb flotador, són sensors de nivell a un sol punt. El seu principi de funcionament implica l'obertura o tancament d'un interruptor mitjançant làmines magnètiques. En aquests tipus de sensor, la commutació succeeix quan un imant permanent segellat dins el flotador puja o cau respecte el nivell de control deixant passar o no (depenent de l'estat inicial) una certa corrent d'entrada. Aquest tipus de sensors operen bé en una gran varietat de líquids, incloent-hi els corrosius, són de dimensions reduïdes i els més econòmics de tots.

Sensor de nivell pneumàtic

De la mateixa manera que els sensors de nivell amb flotador, els sensors de nivell pneumàtics són de detecció a un sol punt. El seu ús és indicat en llocs on

existeixen condicions perilloses, on no hi ha electricitat o el seu ús és restringit i en aplicacions que impliquen fang pesat o adob semilíquid. Aquests sensors tenen un interruptor intern que s'activa amb la compressió d'una columna d'aire contra un diafragma. Són adequats per líquids altament viscosos com greix.

Sensor de nivell conductiu (amb elèctrodes)

Els sensors de nivell conductius són ideals per controlar nivell a un sol punt d'una àmplia gamma de líquids conductius com aigua i estan especialment recomanats per líquids altament corrosius com la sosa càustica, el sulfamat, l'àcid nítric, el clorur fèrric o líquids similars. El funcionament d'aquests tipus de sensors consisteix a mesurar de manera continua la conductivitat del líquid i al detectar un canvi brusc d'aquesta significarà que el nivell de líquid està per sota del punt de control del sensor.

Sensor de nivell ultrasònic

Els sensors de nivell ultrasònics són ideals per la detecció de nivell sense contacte de líquids altament viscosos com oli pesat, greix, làtex, i adobs semilíquids així com la majoria de sòlids com ciment, sorra, fibra o arròs. Els sensors emeten ones acústiques a alta freqüència (20 kHz a 200 kHz) que es reflecteixen i són detectades pel propi transductor que emet.

Les turbulència, l'escuma, les boirines químiques (vapors) i els canvis a la concentració del material, poden afectar la resposta del sensor ultrasònic. El muntatge del sensor és molt important per assegurar que les ones sonores es reflecteixin perpendicularment al propi sensor. Altrament, la desalineació fins i tot lleugera del sensor en relació amb el material de procés redueix la quantitat d'ona sonora detectada pel transductor i per tant degrada la precisió en la detecció del nivell. Aquests tipus de sensors tenen un cost relativament elevat i poden ser utilitzats tant per la detecció de nivell continu com a un sol punt.

Sensor de nivell de radar

Els sensors de nivell de radar són ideals per ambients humits, vaporosos i polsegosos així com en aplicacions en que les temperatures varien sovint. El sensor de radar, penetra les capes de temperatura i vapor que poden provocar problemes per altres tècniques com ultrasònic.

Els sensors de radar bàsicament utilitzen dues tècniques: Time Domain Reflectometry (TDR) que és una mesura de temps de vol dividit per la velocitat de la llum, similar als sensors de nivell ultrasònics i sistemes de Doppler que empen tècniques de FMCW (Frequency Modulated Continuous-wave). El gran desavantatge d'aquests sensors és el seu elevat cost.

Sensors de Nivell de Cadena Resistius

Els sensors de nivell de cadena resistius són similars als sensors de nivell de flotador magnètics ja que tenen un imant segellat dins d'un flotador. En aquest cas però, el flotador es mou amunt i avall d'una barra (de la mateixa llargària

que el dipòsit) que conté interruptors i resistències espaiats als seu llarg. Quan els interruptors estan tancats, les resistències és sumen i es converteixen en corrent o senyals de voltatge que són proporcionals al nivell del líquid. El cost d'aquests sensors és elevat.

Sensor de Nivell de Pressió Hidrostàtic

Els sensors de nivell de pressió hidrostàtics poden ser submergibles o muntables externament i són adequats per mesurar el nivell de líquids corrosius i/o en dipòsits profunds. Al mercat existeixen sensors des de 10mbar fins a 1000bar.

Com que aquests sensors mesuren pressió i aquesta és creixent amb la profunditat i a més els pesos específics de líquids són diferents, el sensor s'ha de calibrar específicament per a cada aplicació. A més a més, les variacions grans de temperatura provoquen canvis de pes específic i aquest fet s'hauria de considerar en la conversió de pressió a nivell.





Un cop vistes les tècniques més comuns existents per mesurar el nivell de líquid d'un dipòsit o tanc i tenint en compte les necessitats del nostre sistema s'optarà per utilitzar sensors de nivell magnètic amb flotador. S'ha escollit aquesta opció per la seva senzillesa i sobretot pel seu baix cost (molt per sota que la resta). En el nostre cas es vol controlar el nivell de solució mare en un petit tanc així que s'utilitzaran dos sensors col·locats al 50% i 15% d'ocupació del mateix.

3.3.5.2 Sensors comercials

La següent taula mostra una comparativa d'alguns dels sensors de nivell comercials.

Taula 3.7 Sensors de nivell comercials

Model	LS-3	41321	FH07-0000	C-7236
Fabricant	Gems	Thomas Products LTD.	SMD Fluid Controls, Inc.	Cebek
Material Gravetat específica del flotador	Polipropilè	llautó	Polipropilè	Polipropilè
Muntatge	0,85	0,65	0,70	0,75
Temperatura d'operació(°C)	vertical	Vertical	Horitzontal	Horitzontal
Màxima pressió (Bars)	-40 a 65	-40 a 149	-20 a 90	-20 a 90
Tensió màxima de commutació	3	52	1,72	-
	Interruptor de làmines magnètic (NO)	Interruptor de làmines magnètic (NO)	Interruptor de làmines magnètic (NO)	Interruptor de làmines magnètic (NO)

	240Vac	120Vac	250Vdc	200Vdc
Preu (€)	14	32	21	10,95
Imatge				
Referència	[46]	[47]	[48]	[49]

3.3.5.3 Sensor escollit

Per la mesura del nivell de solució mare del tanc s'ha escollit el sensor C-7236 del fabricant Cebek. Com es pot veure en la taula anterior, els quatre sensors de nivell tenen característiques similars sent la diferència més destacable el tipus de muntatge i el material del cos. La principal raó per la que s'ha escollit aquest sensor és pel seu preu i pel tipus de muntatge ja que al ser horitzontal, la seva col·locació al tanc és molt més senzilla.

3.3.5.4 Acondicionament del senyal

Aquest sensor no requereix cap mena d'acondicionament de senyal ja que no genera una tensió o corrent en funció del nivell de líquid del tanc.

En la configuració de normalment obert (NO) el C-7236 es comporta com un interruptor que deixa passar una certa tensió d'entrada quan el líquid es troba per sota de la seva posició.

Per això, incorpora un interruptor de làmines magnètic amb un petit flotador que el manté obert mentre el líquid es troba per sobre del seu nivell de col·locació però que es tanca quant aquest baixa per sota deixant passar així la tensió d'entrada.

El sensor de nivell rebrà una tensió d'entrada de 5Vdc, de tal manera que, quan el nivell de solució mare baixi per sota de la seva posició aquest deixarà passar de manera constant aquesta tensió i el DAQ detectarà el canvi.

Pel nostre sistema s'utilitzaran dos sensors C-7236 col·locats a dos nivells diferents, indicant així quant el tanc es troba al 50% i al 15% d'ocupació.

3.3.6 Recipient de drenatge

Per tal de poder mesurar la quantitat d'aigua drenada pel cultiu, s'utilitzarà un pluviòmetre col·locat sota la banqueta per tal de recollir-la.

3.3.6.1 *Tipus de sensor*

Al mercat podem trobar diferents tipus de pluviòmetres per mesurar la quantitat d'aigua caiguda en una determinada zona. Els tipus de pluviòmetres més comuns són: [50]

Pluviòmetre estàndard

Aquest tipus de pluviòmetre és el primer que va sorgir i per tant també és el més simple. Consta d'un embut adjuntat a un cilindre graduat en mm que s'insereix dins un contenidor més gran. Si l'aigua vessa des del cilindre graduat el contenidor exterior l'agafarà. La mesura és totalment visual. Aquests pluviòmetres són molt econòmics.

Pluviòmetre de cassoles

El pluviòmetre de cassoles consta d'un cilindre que en la seva part superior conté un embut que recull i canalitza la precipitació cap a dues cassoles internes. La precipitació cau a una de les cassoles que s'equilibren de la mateixa manera que una balança. Després d'una quantitat de precipitació igual a la capacitat de les cassoles, la palanca aboca el contingut i es genera un pols momentani mitjançant un interruptor de làmines magnètic) que el sistema de control pot llegir.

El pluviòmetre de cassoles no és tan acurat com el pluviòmetre estàndard ja que les precipitacions es poden aturar abans que la palanca hagi abocat i per tant la precisió d'aquest ve donada per la capacitat de les cassoles. El preu d'aquests pluviòmetres és baix.

Pluviòmetre de tipus pesant

El pluviòmetre de tipus pesant consta d'una galleda d'emmagatzematge, que es pesa per enregistrar la massa. Els avantatges d'aquest tipus de pluviòmetre respecte als de cassoles són que no subestima la pluja intensa, i pot mesurar altres formes de precipitació com la pedra i la neu. Tanmateix, aquests pluviòmetres són més cars i exigeixen més manteniment que els pluviòmetres de cassoles.

Pluviòmetre òptic

Aquests tenen una fila d'embutos de recollida. En un petit espai per sota cada embut hi ha un díode làser i un detector de fototransistors. Quan es recull prou aigua com per fer una sola gota, regalima al fons caient enmig del camí dels raigs làsers. El sensor es fixa de manera perpendicular al làser de manera que




s'escampi prou llum per ser detectat com un flaix sobtat de llum. Els flaixos d'aquests fotodetectors es llegeixen i es transmeten o s'enregistren. Aquests tipus de pluviòmetre tenen un cost elevat.

Pel tipus d'utilització que se li donarà (mesurar aigua drenada del cultiu hidropònic) és farà servir un pluviòmetre de cassoles ja que aquest és pot integrar amb un sistema d'adquisició de dades i el seu preu és baix.

3.3.6.2 Sensors comercials

La següent taula mostra una comparativa d'alguns dels pluviòmetre comercials.

Taula 3.8 Pluviòmetres comercials

Model	RGA	RG13	RG200	52203
Fabricant	RainWise	Vaisala	Global Water's	Young
Tipus	Pluviòmetre per inclinació	Pluviòmetre per inclinació	Pluviòmetre per inclinació	Pluviòmetre per inclinació
Material	Plàstic i acer	Alumini	UV-plàstic	Alumini
Temps de resposta (seg.)	<0,1	-	0,135	-
Exactitud (%)	±0,5	-	±3	±3 fins a 50mm/hr
Temperatura d'operació (°C)	-	-	0 a 51	0 a 50
Alimentació	No requereix	No requereix	No requereix	No requereix
Resolució	Pols/0,25mm	Pols/0,2mm	Pols/0,25mm	Pols/0,1mm
Tensió màxima de commutació	Interruptor de làmines magnètic (NO)	Interruptor de làmines magnètic (NO)	Interruptor de làmines magnètic (NO)	Interruptor de làmines magnètic (NO)
	24Vac/Vdc 250mA	24Vac/Vdc 250mA	30Vdc/115Vac 250mA	24Vac/Vdc 500mA
Autobuidat	Si	Si	Si	Si
Preu (€)	7,5	36	60	92
Imatge				
Referència	[51]	[52]	[53]	[54]

3.3.6.3 *Sensor escollit*

Per la mesura de la quantitat d'aigua drenada pel cultiu, s'ha escollit el pluviòmetre RGA del fabricant RainWise. Com es pot veure en la taula anterior, els quatre pluviòmetres tenen característiques similars sent la diferència més destacable la seva resolució. Tot i que el pluviòmetre escollit és un dels que menys resolució té (25mm), aquesta és més que suficient pel tipus d'aplicació en la que s'utilitzarà i en canvi el seu preu és el més baix dels quatre i per aquesta raó s'ha escollit.

3.3.6.4 *Acondicionament del senyal*

De la mateixa manera que l'anemòmetre i el sensor de nivell, aquest pluviòmetre no requereix cap mena d'acondicionament de senyal ja que no genera una tensió o corrent en funció de la quantitat d'aigua recollida.

El RGA utilitza una recipient amb una capacitat de 25mm que es buida automàticament cada cop que s'omple completament. Aquest incorpora un interruptor de làmines magnètic en el seu interior que es troba normalment obert però que es tanca durant 0,1 segons cada cop que aquest es buida deixant passar així la tensió d'entrada.

En el nostre sistema, el pluviòmetre rebrà una tensió d'entrada de 5Vdc, de tal manera que, cada cop que aquest realitzi un buidat i per tant l'interruptor es tanqui, es generarà un pols d'amplitud 5 que el DAQ podrà detectar.

Llegint la quantitat de polsos que arriben al DAQ en l'interval d'una hora es podrà obtenir la quantitat d'aigua drenada pel cultiu durant aquest interval de temps.

3.3.7 **Sensor de CE**

El sensor de CE s'utilitzarà per conèixer la conductivitat elèctrica de l'aigua drenada pel cultiu hidropònic per tal de saber la quantitat de sals (nutrients) que hi han dissoltes en ella. Aquest haurà de poder mesurar de 0 a 10mS/cm amb una resolució de 50 μ S/cm.

3.3.7.1 *Tipus de sensor*

Al mercat podem trobar diferents tipus de sensors per mesurar la conductivitat elèctrica de solucions líquides. Els tipus més comuns són: [55]

Sensors inductius

Els sensors inductius estan formats per un cèl·lula consistent en dues bobines, una transmissora i una altra receptora. Ambdues bobines es munten una al costat de l'altra. La zona de les bobines es submergeix en el líquid i aquest

passa a través dels forats de les mateixes. Per tal de poder mesurar la conductivitat elèctrica del líquid, s'ha d'aplicar una tensió alterna sinusoïdal a la bobina transmissora. Això produeix un corrent en el fluid proporcional a la seva conductivitat. Al mateix temps, aquest corrent induïx una tensió en la bobina receptora. La conductivitat es determina mesurant aquesta segona tensió i coneixent la constant de la cèl·lula. Al no existir contaminació ni polarització d'elèctrodes, la lectura és més fiable i precisa.

Aquests tipus de sensor solen utilitzar-se per llegir valors de conductivitat elèctrica alts.

Sensors de contacte amb elèctrodes

Els sensors de contacte estan formats per una cel·la consistent en una parella d'elèctrodes. Per tal de poder mesurar la conductivitat elèctrica de la solució, els dos elèctrodes s'han de submergir al fluid i aplicar una tensió alterna en un d'ells. Això produeix un corrent en el fluid proporcional a la seva conductivitat. Mesurant aquest corrent a la sortida de l'altre elèctrode i aplicant la llei d'Ohm s'obté el valor de la conductivitat elèctrica de la solució.

Els sensors de contacte poden estar formats per 2 o 4 elèctrodes augmentant en aquest últim cas la precisió de la mesura. Normalment s'utilitzen per mesurar valors de conductivitat baixos/mitjos i el seu cost és inferior als sensors inductius.

Per la mesura de la conductivitat elèctrica de l'aigua drenada del cultiu hidropònic s'utilitzarà un sensor de contacte amb 2 elèctrodes ja que aquest és el que més s'adapta als nostres requeriments; valors de conductivitat baixos i baix cost.

3.3.7.2 Sensors comercials

La següent taula mostra una comparativa d'alguns dels sensors de conductivitat comercials.

Taula 3.9 Sensors de conductivitat comercials

Model	CS150	SI 301	2820/2821	CMC8/01/10
Fabricant	Sensorex	Guemisa	Signet	LTH Electronics
Constant cel·la	K=0,1; K=1	K=1	K=0,1; K=1	K=0,1; K=1
Tipus	2 elèctrodes grafit	2 elèctrodes INOX	2 elèctrodes INOX	2 elèctrodes grafit
Material cos	Epòxid	PVC	PTFE	PP
Temperatura d'operació(°C)	0 a 70	0 a 40	0 a 100	0 a 50
Pressió màxima (Bars)	7,5	3	6,9	3,3
Cable (m)	0,76	1,5	4,6	2

Preu (€)	20	37,5	98,5	60
Imatge				
Referència	[56]	[57]	[58]	[59]

3.3.7.3 Sensor escollit

Per la mesura de la conductivitat elèctrica s'ha escollit el sensor CS150 de Sensorex. S'ha escollit aquest sensor pel seu baix cost.

Com es pot veure en la taula anterior, tots els sensors tenen característiques similars on l'única diferència substancial resideix en els materials dels elèctrodes i el cos del propi sensor.

3.3.7.4 Acondicionament del senyal

La conductivitat elèctrica dels fluids varia amb els canvis de temperatura i normalment és necessari corregir aquests errors de mesura amb algorismes que sovint són complexes. En el nostre cas però, al treballar dins d'un hivernacle on la temperatura és mantindrà constant al llarg del temps no caldrà fer aquesta correcció.

Per tal de conèixer la conductivitat elèctrica que presenta l'aigua drenada pel cultiu, és vol obtenir un senyal d'entrada al DAQ de 0 a 5V. Aquest cas però, és diferent de la resta de sensors ja que aquest no genera un senyal de sortida per si mateix si no que només ens permet mesurar la resistència (i per tant la conductivitat) de l'aigua entre els seus dos elèctrodes.

En primer lloc, s'ha de veure si el DAQ, dona una resolució prou alta com per detectar canvis de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$:

$$\text{Resolució} = \frac{(10 - 0) \text{ mS/cm}}{2^{11}} = 4,88 \mu\text{S/cm}$$

La resolució desitjada pel sensor de conductivitat elèctrica és de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i el DAQ (amb 11 bits) ofereix una resolució de 4,88 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per tant no hi ha cap problema.

Per tal de poder conèixer la resistència que ofereix l'aigua entre els dos elèctrodes del sensor, s'ha d'aplicar una tensió alterna a un dels extrems del sensor, i mesurar la corrent que circula per l'altre extrem. Mitjançant la llei d'Ohm s'obté la resistència de l'aigua.

La tensió que s'ha d'aplicar al sensor ha de ser forçosament alterna ja que si s'utilitza una corrent continua, els ions veïns al elèctrode emigrarien, produint un empobriment d'electrolits en el mig. Aquest fet fa que la conductivitat s'alteri com a conseqüència de la variació en la concentració i fa impossible mesurar la conductivitat mitjançant corrent continua. Aquest fenomen s'anomena polarització dels elèctrodes. [60]

Com que el DAQ només treballa amb corrent continua, per poder conèixer la conductivitat elèctrica s'haurà d'implementar un sistema per convertir la corrent alterna de sortida del sensor en corrent continua. Tanmateix, s'haurà d'implementar un sistema que a partir d'una corrent continua (generada pel DAQ) sigui capaç de crear una corrent alterna amb una certa freqüència.

3.3.7.5 Model electrònic

El model electrònic implementat per tal d'adaptar el senyal del sensor al DAQ és el següent.

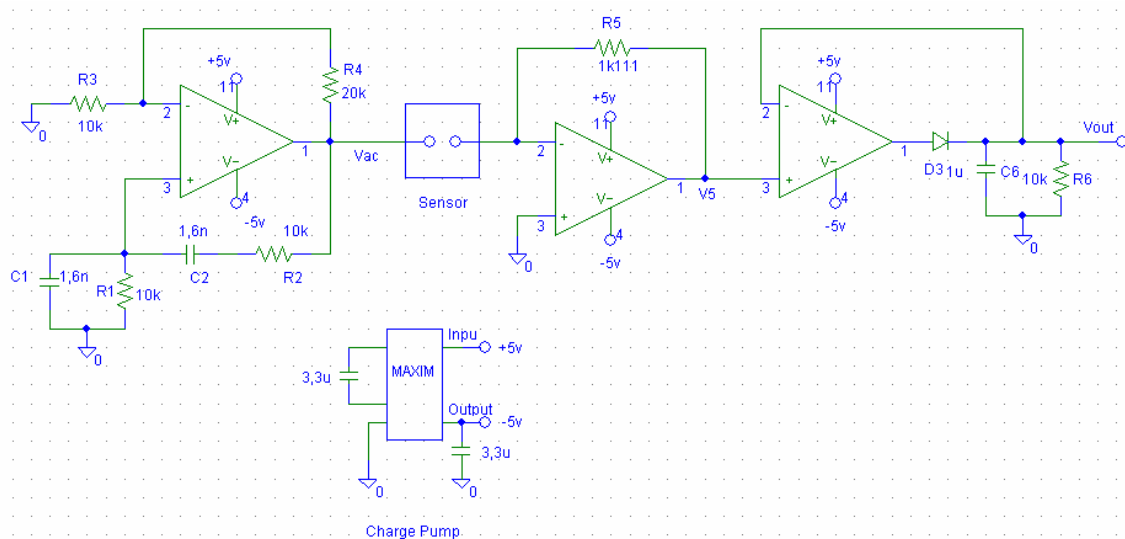


Fig. 3.8 Model electrònic sensor CE

Per tal d'obtenir una sortida de 0 a 5V per conductivitats elèctriques de 0 a 10mS/cm, els valors de les resistències i els condensadors són:

$$R1 = 10 \text{ k}\Omega \quad R2 = 10 \text{ k}\Omega \quad R3 = 10 \text{ k}\Omega \quad R4 = 20 \text{ k}\Omega \quad R5 = 1 \text{ k}111 \text{ }\Omega \\ R6 = 10 \text{ k}\Omega \quad C1 = 1,6 \text{ nF} \quad C2 = 1,6 \text{ nF} \quad C6 = 1 \mu\text{F}$$

Com que s'han d'escollir resistències comercials (1% d'error), els valors reals seran:

$$R1 = 10 \text{ k}\Omega \quad R2 = 10 \text{ k}\Omega \quad R3 = 10 \text{ k}\Omega \quad R4 = (18+1+1) \text{ k}\Omega \\ R5 = (1000+100+10+1) \text{ }\Omega \quad R6 = 10 \text{ k}\Omega \quad C1 = 1,6 \text{ nF} \quad C2 = 1,6 \text{ nF} \quad C6 = 1 \mu\text{F}$$

L'equació teòrica que utilitzarà el DAQ per determinar la conductivitat elèctrica a partir del voltatge de sortida del circuit d'acondicionament del sensor serà:

$$C(\mu S / cm) = \frac{V_{out}}{5 \cdot 10^{-4}}$$

Al ANNEX B.1 es poden veure tots els càlculs detallats pas per pas.

3.4 Relés

Per tal de poder activar mitjançant el sistema d'adquisició de dades els actuadors de l'hivernacle serà necessària la utilització de relés.

Un relé és un dispositiu electromecànic, que funciona com un interruptor controlat per un circuit elèctric en el qual, per mitjà d'un electroimà, s'acciona un joc d'un o diversos contactes que permeten obrir o tancar altres circuits elèctrics independents com per exemple sistemes de calefacció, refrigeració, il·luminació, etc.

El gran avantatge dels relés és la completa separació elèctrica entre el corrent d'accionament (el qual circula per la bobina del electroimà) i els circuits controlats pels contactes, el que fa que es puguin manegar alts voltatges o elevades potències amb petites tensions de control.

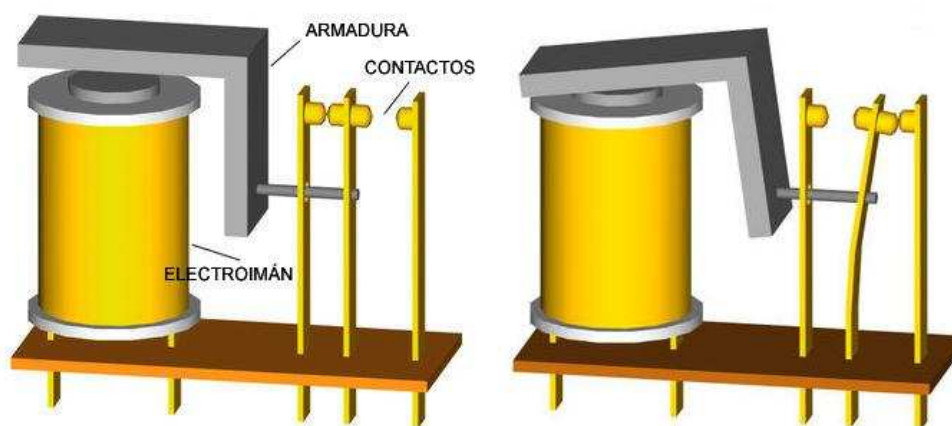


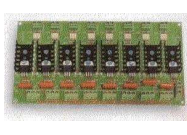



Fig. 3.9 Funcionament d'un relé

3.4.1 Models comercials

En la següent taula es fa una comparativa d'algun dels mòduls de relés que existeixen al mercat.

Taula 3.10 Relés comercials

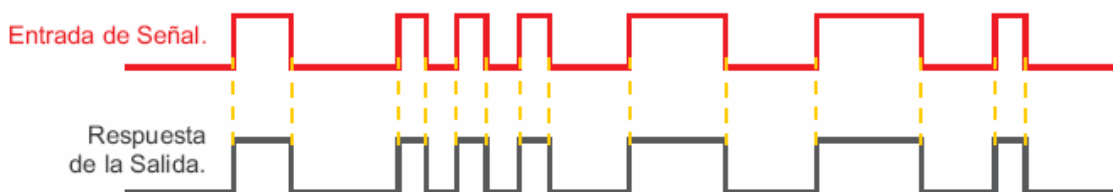
Model	T-511	RLY08	T-11	SKM-SP2
Fabricant	Cebek	SRobotica	Cebek	Selekron
Tensió (Vac)	230	Fins 250	230	Fins 250
Nº Sortides	8	8	8	8
Retard activació (µs)	100	-	-	-
Senyal de control	3 a 24v	Bus I2C	3 a 24V	RJ45 (IP)
Alimentació	Xarxa elèctrica	5Vdc	Xarxa elèctrica	8 a 30Vdc
Preu (€)	74,20	53,35	55,20	197
Imatge				
Referència	[61]	[62]	[63]	[64]

3.4.2 Relé escollit

Per tal de poder activar els actuadors mitjançant el DAQ és necessari un relé que es pugui activar amb una tensió continua. En aquest aspecte els dos relés que més s'adapten són els del fabricant Cebek ja que el senyal de control pot ser qualsevol entre 3 i 24Vdc. Tots dos tenen característiques molt similars però s'utilitzarà el model T-11 ja que el seu preu és inferior.

El funcionament del T-11 és molt senzill. Simplement ha d'estar connectat a la xarxa elèctrica (230Vac 50Hz) per tal de poder commutar aquesta tensió cap a la sortida o sortides que estiguin activades per les seves respectives entrades (senyals de control).

En la següent figura és mostra el comportament de les sortides segons els senyals d'entrada.

**Fig. 3.10** Comportament sortida-entrada

Com es pot veure en la figura anterior, la sortida només estarà commutada quan el senyal d'entrada és mantingui actiu.

3.5 Programa de Control

3.5.1 Greenhouse Control System

Per tal d'oferir al usuari final una interfície visual des de on pugui controlar i automatitzar tots els elements de l'hivernacle, s'ha realitzat un programa en LabVIEW. S'ha escollit aquest llenguatge per la seva adaptabilitat als sistemes d'adquisició de dades i per la seva interfície visual.

El programa ha estat dividit en dues parts; Una primera part de recollida de dades a través dels sensors per posteriorment mostrar-les a l'usuari mitjançant gràfiques amb històric de dades i marcadors juntament amb un quadre d'alarmes per poder detectar ràpidament si hi ha algun problema, i una segona part on l'usuari pot realitzar el control (manual o automàtic) dels actuadors (ventiladors, sistema de calefacció, reg,...) del hivernacle.

En la elaboració del programa de control s'ha buscat que aquest fos el màxim senzill i usable possible per l'usuari i molt flexible a l'hora de prendre decisions en la automatització. La majoria de softwares de control que existeixen al mercat són molt tancats i no permeten a l'usuari interaccionar en la presa de decisions, en canvi, aquest permet automatitzar tots els actuadors de l'hivernacle en funció de qualsevol de les magnituds de les que es disposen i modificar-ho en qualsevol moment.

En les següents figures es mostren les dues finestres a les que tindrà accés l'usuari per tal de controlar i automatitzar el seu hivernacle domèstic.

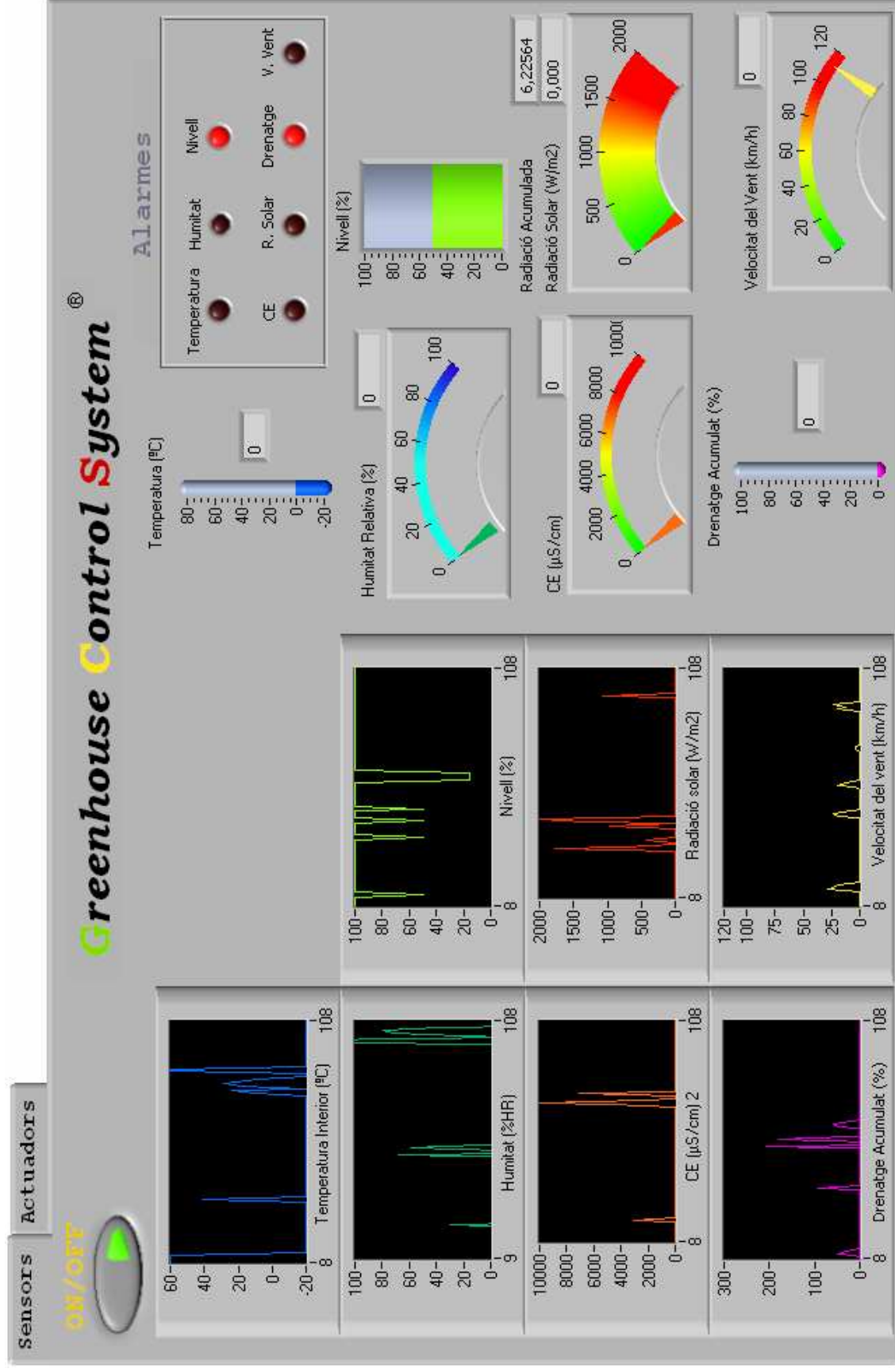


Fig. 3.11 GCS - Sensors

Sensors

Actuadors

MANUAL/AUTO

Estimació % temps fertilitzants

20

Estimació temps de reg (min)

1

Cabal entrada unitat testimoni (l/h)

0

% temps fertilitzants REAL

20

Temps reg REAL (min)

1

Manual

Automàtic

OFF/ON

VENTILADOR

OBRIUR FINESTRA

SIST. HUMIDIFICACIÓ

CALEFACCIÓ

ACTIVAR REG+FERTI

AUGMENTAR DOSI REG

REDUIR DOSI REG

AUGMENTAR FERTI.

REDUIR FERTI.

Temperatura (°C)

Humitat (%)

CE (µS/cm)

Radiació Acum. (J)

Velocitat Vent (km/h)

Drenatge Acum. (%)

Condió




Fig. 3.12 GCS - Actuadors

En la primera finestra, per tal de mesurar les magnituds desitjades s'han fet servir les 8 entrades analògiques del DAQ i mitjançant formules s'han transformat els voltatges en temperatura, humitat, etc. En el cas del pluviòmetre i l'anemòmetre, els fluxos d'adquisició han estat diferents ja que aquests dos sensors no emeten un voltatge en funció de la quantitat d'aigua o la velocitat del vent sinó que emeten una certa quantitat de polsos per segon. En aquest cas, mitjançant la utilització de formules i arrays s'han hagut de detectar la quantitat de polsos que arribaven per segon i s'han transformat en quantitat d'aigua drenada i velocitat de vent respectivament.

En quant al control dels actuadors, s'han implementat dos tipus de funcionaments: un manual i un altre automàtic. En tots els casos els actuadors són activats mitjançant un relé que a la vegada és activat per les sortides digitals del DAQ.

Si l'usuari vol treballar en mode manual, simplement amb el botó de ON/OFF activa o desactiva la sortida digital associada a aquell actuator per tal que el relé permeti o no passar la corrent elèctrica.

Si l'usuari treballa en mode automàtic, l'activació/desactivació dels actuadors depèn del compliment de les condicions de control. En aquest mode, existeix una casella per cada actuator per tal d'indicar (en el cas que s'hagi escollit més d'una condició) si s'han de complir totes les condicions (opció AND) o si n'hi ha prou amb que es compleixi una d'elles (opció OR).

En mode automàtic, l'activació del sistema de fertirrigació (aigua i fertilitzants) té un funcionament diferent a la resta. De la mateixa manera que els altres d'actuadors, per tal que la fertirrigació s'iniciï s'han de complir les condicions que s'hagin seleccionat, amb la diferència que aquesta no es manté activa fins que les condicions es deixen de complir sinó que la sortida d'aigua està activa un temps igual al temps de reg i la sortida de fertilitzants un percentatge del temps de reg.

A més a més, i per tal d'adaptar el temps de reg i el percentatge de temps amb fertilitzants a les necessitats del cultiu de manera dinàmica, existeixen quatre paràmetres que depenen de l'activació de la fertirrigació; augmentar/disminuir dosi reg i augmentar/disminuir fertilitzants. Inicialment, l'usuari ha d'indicar una estimació del temps que durarà cada reg i el percentatge de temps que vol que s'afegeixin fertilitzants al reg i a partir d'aquests valors el programa decidirà quan cal augmentar o disminuir el temps de reg i la quantitat de fertilitzants segons les condicions seleccionades.

En la següent figura es mostrà el diagrama de flux que segueix el programa durant el seu funcionament.

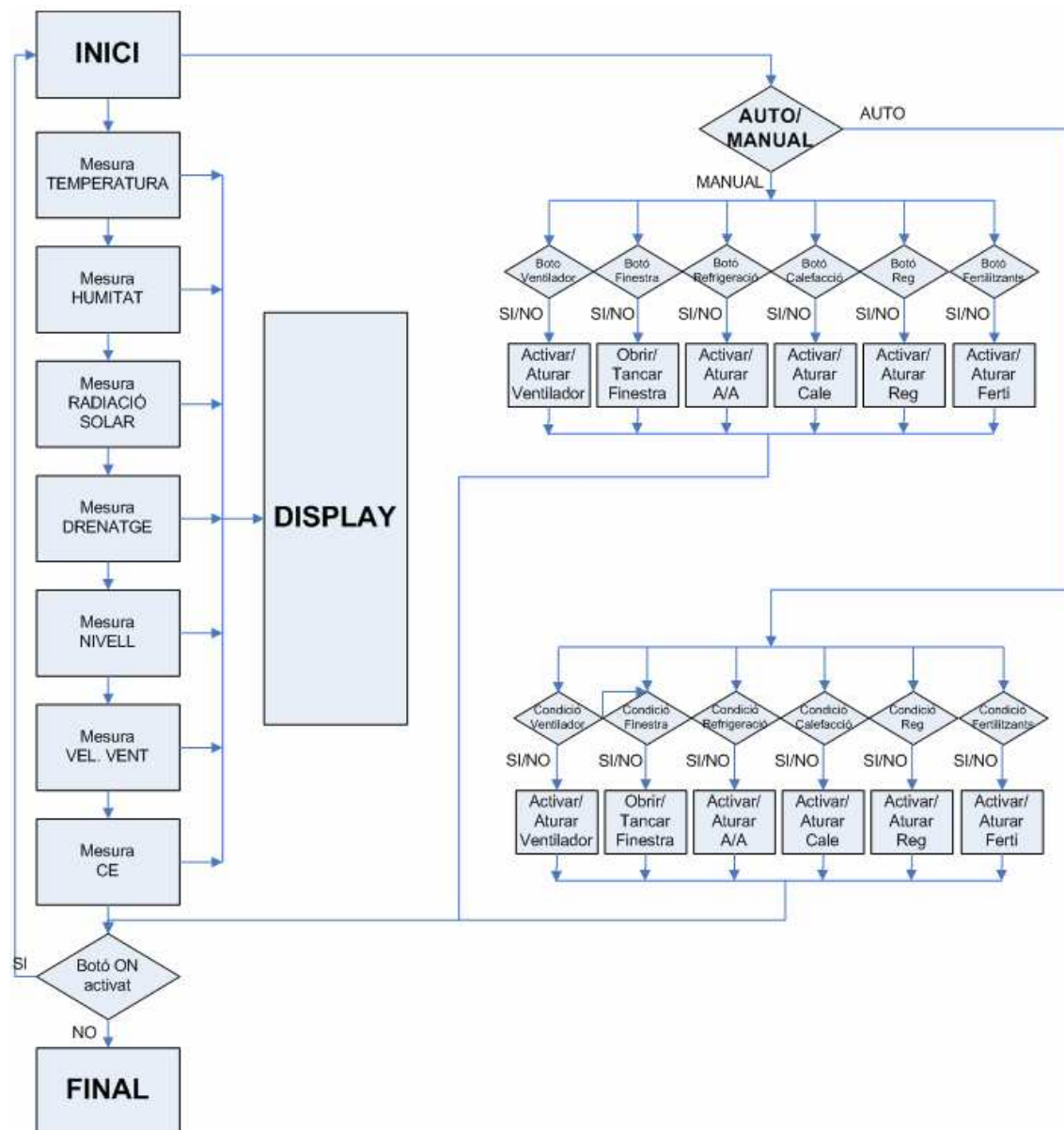


Fig. 3.13 Diagrama de Flux GCS

3.5.2 Criteris per l'activació dels actuadors

Com ja s'ha vist, en mode automàtic els actuadors poden dependre de qualsevol de les magnituds mesurades. Aquestes magnituds són:

- Temperatura interior de l'hivernacle
- Humitat relativa de l'hivernacle
- Conductivitat elèctrica de l'aigua drenada
- Radiació acumulada des de l'últim reg

- Velocitat del vent
- Percentatge d'aigua drenada des de l'últim reg

Tot i que el programa de control ha estat dissenyat per tal de ser el màxim flexible possible a l'hora d'activar els actuadors, normalment aquests només dependran d'alguna de les magnituds mesurades.

1. **Ventilador.** Normalment aquest actuator serà funció de la temperatura i la humitat relativa de l'hivernacle.
2. **Obrir finestra.** Igual que el ventilador, aquest serà funció de la temperatura i la humitat relativa de l'hivernacle però a més també dependrà de la velocitat del vent ja que si aquesta és molt elevada obrir la finestra podria causar danys al cultiu.
3. **Sistema d'humidificació.** El sistema d'humidificació dependrà de la humitat relativa i en ocasions també de la temperatura de l'hivernacle.
4. **Sistema de fertirrigació.** L'activació del sistema de fertirrigació bàsicament hauria de dependre de la radiació acumulada des de l'últim reg ja que aquesta és proporcional a la quantitat d'aigua absorbida per les plantes.
5. **Augmentar/Disminuir dosi reg.** Aquests no són uns actuadors com a tal sinó que són uns controls per augmentar o disminuir la dosi del reg de manera dinàmica. Per decidir si cal augmentar o disminuir la dosi, normalment es basaran en el tant per cent d'aigua drenada des de l'últim reg. El tant per cent d'aigua drenada es calcula a partir de la quantitat d'aigua drenada pel cultiu i el volum d'aigua d'entrada total (cabal entrada x temps de reg).
6. **Augmentar/Disminuir fertilitzants.** Aquest dos últims, tenen el mateix funcionament que els dos anteriors, es a dir, són controls per augmentar o disminuir el percentatge de temps de reg que s'afegiran fertilitzants. Per decidir si cal augmentar o disminuir el percentatge de temps amb fertilitzants, normalment es mirarà la conductivitat elèctrica de l'aigua drenada.

3.5.3 Validació

Per tal de poder validar el correcte funcionament del programa de control s'ha utilitzat un sistema d'adquisició de dades usb del qual disposava l'escola. Aquest ha estat el KUSB 3100 de Keithley.

Amb aquest mòdul, s'ha validat que totes les entrades i sortides realitzessin les lectures i escriptures correctament i que tota la lògica del programa funcionés com s'esperava. El resultat ha estat satisfactori.

Amb l'objectiu de realitzar una petita demostració que simules com seria a la pràctica el funcionament del sistema de control i automatització de l'hivernacle, s'ha muntat el sensor de temperatura amb el seu circuit d'acondicionament i s'han fet servir un parell de leds a mode d'actuadors.

El resultat d'aquesta demostració experimental ha donat una visió molt clara i visual de com es comportaria el sistema en una situació real.

A continuació es mostren unes imatges de la demostració experimental.

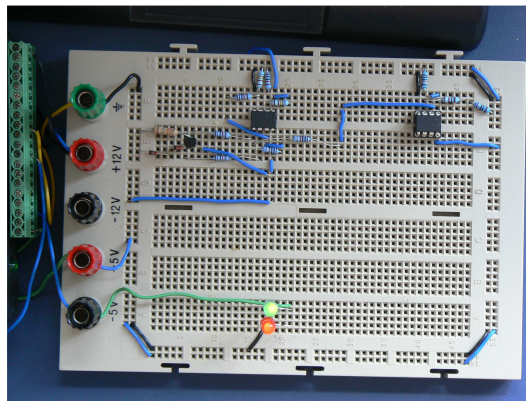
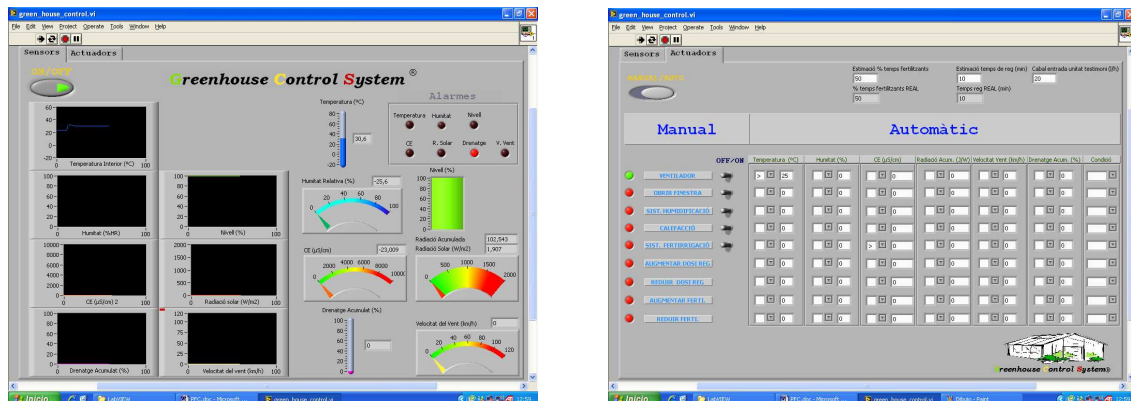


Fig. 3.14 Demostració experimental

CAPÍTOL 4. PRESSUPOST

A continuació es mostra el pressupost total del sistema de control i automatització d'hivernacles. Tots els preus han estat calculats per 500 unitats i no s'ha tingut en compte el cost de disseny, muntatge i elaboració del software de control.

Taula 4.1 Pressupost total

Producte	Unitats	Preu unitari (€)	Preu Total (€)
Sensors			
LM35CAZ	1	2,44	2,44
808H5V5	1	5,5	5,5
CS300	1	114	114
Wind Sensor	1	33	33
C-7236	2	10,95	21,90
RGA	1	7,5	7,5
CS150	1	20	20
Components electrònics			
Resistència 10 k Ω (1%)	11	0,0119	0,1309
Resistència 1 k Ω (1%)	4	0,0119	0,0476
Resistència 100 k Ω (1%)	2	0,0119	0,0238
Resistència 1,5 k Ω (1%)	2	0,0119	0,0238
Resistència 51 k Ω (1%)	1	0,0119	0,0119
Resistència 3,9 k Ω (1%)	1	0,0119	0,0119
Resistència 270 Ω (1%)	1	0,0119	0,0119
Resistència 18 k Ω (1%)	1	0,0119	0,0119
Resistència 100 Ω (1%)	1	0,0119	0,0119
Resistència 10 Ω (1%)	1	0,0119	0,0119
Resistència 1 Ω (1%)	1	0,0119	0,0119
Condensador ceràmic 1,6nF	2	0,08	0,16
Condensador electrolític 1 μ F	1	0,07	0,07
Diode D1N914	2	0,05	0,1
OA MCP602	4	0,8	3,2
AO LME49720	3	1,26	3,78
Charge-pump MAX828	1	0,48	0,48
Relé			
T-11	1	55,20	55,20
Mòdul d'adquisició de dades			
USB-6008	1	149	149
Altres components			
Cable			
LabVIEW			
Professional	0,002	2651,97	5,3
TOTAL			321,39

Com es pot veure en la taula anterior, finalment el cost total del sistema és de 321,39 €.

CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS I LÍNIES FUTURES

5.1 Conclusions

En aquest projecte s'ha vist que cada cop hi ha més persones interessades en el cultiu de plantes a la pròpia llar i en aquest sentit la possibilitat d'oferir als usuaris un sistema per controlar i automatitzar els seus cultius sembla una opció molt interessant, ja que no només obtenen la possibilitat de tenir un cultiu molt més eficient i de més qualitat sinó que guanyen la llibertat de poder descuidar per complert durant un cert període de temps el seu cultiu sense que aquest es vegi afectat.

D'altra banda, un cop analitzats els costos de fabricació del producte, es veu que es podria oferir un paquet a un preu molt competitiu i per tant atractiu al usuari final. A més, l'usuari no requereix un ordinador dedicat exclusivament pel control del cultiu sinó que pot fer servir el seu ordinador personal.

Amb la realització del software de control s'ha obtingut una eina senzilla i molt més flexible que les que es troben al mercat, oferint la possibilitat de utilitzar-lo no només en l'àmbit domèstic sinó també en àrees d'investigació.

En definitiva, es tracta un projecte tecnològic innovador que obre un camp d'acció al mercat en un sector cada cop més ampli i en continu creixement.

5.2 Línies futures

Inicialment, aquest projecte anava englobat exclusivament en l'àmbit dels hivernacles domèstics però amb la realització del mateix s'ha vist que no només podia anar dirigit a aquest sector sinó que també es podria enfocar en àrees d'investigació i desenvolupament de cultius.

D'altra banda, seria interessant integrar l'actual programa de control dins d'una pagina web per tal de que pogués ser accessible a través de la xarxa d'internet des de qualsevol punt de mon, així com integrar una càmera web per veure l'estat del cultiu.

Un altre línia d'actuació possible, seria realitzar un projecte conjunt entre la EPSC i l'ESAB per muntar un hivernacle amb aquest sistema i analitzar el comportament tant del sistema de control com del propi cultiu i estudiar el seu efecte.

REFERÈNCIES

Llibres

- [1] J.C. López, P. Lorenzo, N.Castilla, J. Pérez-Parra, J.I. Montero, E. Baeza, A. Antón, M.D. Fernandez, A. Baille, M. Gonzalez-Real, 2001, Incorporación de Tecnología al Invernadero Mediterraneo. CAJAMAR. Almeria.
- [2] N. Castilla, 2005, Invernaderos de plástico, tecnología y manejo, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid - Barcelona - Méjico.

URLs internet

- [3] Control climático en invernaderos, 2008. Disponible a:
http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm
- [4] Infojardin: Invernaderos, 2008. Disponible a:
<http://articulos.infojardin.com/huerto/invernaderos-clima-cultivo.htm>
- [5] Cultivos Hidropónicos, 2008. Disponible a:
http://www.fecyt.es/especiales/cultivos_hidroponicos/index.htm
- [6] Wikipedia: Cultivo Hidropónico, 2008. Disponible a:
http://es.wikipedia.org/wiki/Cultivo_hidrop%C3%B3nico
- [7] La importancia del riego, 2008. Disponible a:
<http://agronomia.uchile.cl/webcursos/cmd/12003/Loreto%20Correa/Construccion/riego/Importancia/1.htm>
- [8] Fertilizantes i tipos de abonos, 2008. Disponible a:
<http://articulos.infojardin.com/jardin/abonos-organicos-minerales-liquidados.htm>
- [9] Fertilización controlada, 2008. Disponible a:
<http://www.horticom.com/fitech1/amarhuen.html>
- [10] Calidad del agua del riego, 2008. Disponible a:
<http://www.agroinformacion.com/leer-contenidos.aspx?articulo=213>
- [11] Micro Grow Greenhouse Control Systems, 2008. Disponible a:
<http://www.microgrow.com/growmaster-procom.html>
- [12] AutoClimate Controler, 2008. Disponible a:
http://www.autogrow.com/1_autoclimate/autoclimate.html
- [13] IntelliDose, 2008. Disponible a:
http://www.autogrow.com/1_intellidose/IntelliDose.html

-
- [14] FertiMIX 600, 2008. Disponible a:
<http://www.hortimax.es/content/Fertimix600.aspx>
- [15] NI USB-6008, 2008. Disponible a:
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/14604>
- [16] KUSB-3100, 2008. Disponible a:
<http://www.keithley.com/products/dataacqmodules/usbmodules?mn=KUSB-3100>
- [17] USB-9812-10V, 2008. Disponible a:
<http://www.superlogics.com/usb-digital-input-output/io/USB-9812-10V/9-2580.htm>
- [18] DT9812-10V, 2008. Disponible a:
<http://www.datatranslation.com/products/dataacquisition/usb/dt9812.asp>
- [19] Temperatures.com. Thermocouples information, 2008. Disponible a:
<http://www.temperatures.com/tcs.html>
- [20] Wikipedia. Thermocouples principle of operation, 2008. Disponible a:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>
- [21] Wikipedia. Thermistors principle of operation, 2008. Disponible a:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Thermistors>
- [22] Wikipedia. RTD principle of operation, 2008. Disponible a:
<http://es.wikipedia.org/wiki/RTD>
- [23] Wikipedia. IC sensor principle of operation, 2008. Disponible a:
http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_bandgap_temperature_sensor
- [24] Sensorland. Infrared temperature sensor, 2008. Disponible a:
<http://www.sensorland.com/HowPage022.html>
- [25] NTC ResistancePS602J2, 2008. Disponible a:
<http://www.ussensor.com/rt%20charts/PS602J2.htm>
- [26] TRS-0805 Willow Technologies, 2008. Disponible a:
http://datasheet.eeworld.com.cn/part/194439_WILLOW_TRS0805.html
- [27] MAX-6501, 2008. Disponible a:
http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/1767
- [28] National LM35CAZ, 2008. Disponible a:
<http://www.national.com/mpf/LM/LM35.html>

[29] Humidity sensors.A Review of three technologies, 2008. Disponible a:
<http://www.sensormag.com/sensors/Technology+Tutorials%2FSensors%2FHumidity%2FMoisture/Choosing-a-Humidity-Sensor-A-Review-of-Three-Techn/ArticleStandard/Article/detail/322590>

[30] Humirel HS1100, 2008. Disponible a:
http://www.humirel.com/product/fichier/HPC052_E%20%20%20HS1101LF%20data%20sheet.pdf

[31] Vishay 2381 691 90001, 2008. Disponible a:
<http://www.vishay.com/varistors/list/product-29001/>

[32] Sencera 808H5V5, 2008. Disponible a:
<http://www.sensorelement.com/humidity-sensor-product.htm>

[33] Honeywell HIH - 4000 series, 2008. Disponible a:
http://www.powell.com/news/marketing_briefs/honeywell_humiditysensors.php

[34] Instrumentos de medida de radiación, 2008. Disponible a:
http://www.ideam.gov.co/radiacion.htm#_Instrumentos_de_medida

[35] SP LITE, 2008. Disponible a:
<http://www.kippzonen.com/pages/1273/3/SPLITE>

[36] CS300, 2008. Disponible a:
http://www.apogeeinstruments.com/pyr_spec.htm

[37] SKS1110, 2008. Disponible a:
<http://www.skyeinstruments.com/light.htm>

[38] SP440, 2008. Disponible a:
<http://www.mcvan.com/mcvan/middleto.htm>

[39] Anemómetros, 2008. Disponible a:
http://www.vientosolar.com.ar/eo_anemometros_1.html

[40] Wikipedia Anemometer, 2008. Disponible a:
http://en.wikipedia.org/wiki/Anemometer#Velocity_anemometers

[41] VORTEX Winde sensor, 2008. Disponible a:
http://www.inspeed.com/anemometers/Vortex_Wind_Sensor.asp

[42] WS-MM-555, 2008. Disponible a:
<http://www.aicpl.com.au/frameweb/wind.shtml>

[43] WE550, 2008. Disponible a:
<http://www.envco.org/we550-wind-speed-sensor-554.html>

- [44] 5050WS, 2008. Disponible a:
http://www.hydrolynx.com/products/sensors/model/M5050_WS.htm
- [45] Wikipedia. Level sensor, 2008. Disponible a:
http://en.wikipedia.org/wiki/Level_sensor
- [46] LS-3, 2008. Disponible a:
<http://www.gemssensors.com/Content.aspx?id=1162&langtype=2057>
- [47] 41321, 2008. Disponible a:
<http://thomasproducts.thomasnet.com/viewitems/ucts-ltd-flow-switch-div-level-switch-single-level/single-level-4700-series-level-switch>
- [48] FH07-0000, 2008. Disponible a:
<http://www.fluidswitch.com/pages/fh0708.htm>
- [49] C-7236, 2008. Disponible a:
<http://www.cebek.com/Product.aspx?referencia=739>
- [50] Wikipedia. Pluviometer, 2008. Disponible a:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Pluviometer>
- [51] Rainwise RGA, 2008. Disponible a:
[http://www.rainwise.com/products/detail.php?ID=6760&Category=Industrial_Sensors:Rain / Precipitation Sensors&pageNum_cart=/products/index.php](http://www.rainwise.com/products/detail.php?ID=6760&Category=Industrial_Sensors:Rain_Precipitation_Sensors&pageNum_cart=/products/index.php)
- [52] Vaisala RG13, 2008. Disponible a:
<http://www.vaisala.com/weather/products/weatherinstruments/precipitation/rg13rg13h>
- [53] RG200, 2008. Disponible a:
<http://www.globalw.com/products/rg200.html>
- [54] 52203, 2008. Disponible a:
<http://www.youngusa.com/52202.pdf>
- [55] Conductivity paper, 2008. Disponible a:
http://www.seabird.com/technical_references/condpaper.htm
- [56] Sensorex CS150, 2008. Disponible a:
http://www.sensorex.com/products/conductivity_sensors/process/graphite_conductivity_sensors.html
- [57] Guemisa SI 301, 2008. Disponible a:
<http://www.guemisa.com/ambien/docus/completo%20conductividad.pdf>
- [58] Signet 2820, 2008. Disponible a:
<http://www.gfsignet.com/products/pdf/2819-2823spa.pdf>

[59] CMC8, 2008. Disponible a:

<http://www.lth.co.uk/products.asp?c=CC&p=Y>

[60] La conductividad electrica, 2008. Disponible a:

http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Conductividad/La_Conductividad_Electrica.htm

[61] Modulo Rele T-511, 2008. Disponible a:

<http://www.cebek.com/Productes.aspx?referencia=1496&article=modulos-rele>

[62] Modulo Relé RLY80, 2008. Disponible a:

<http://www.superrobotica.com/S310235.htm>

[63] Modulo Relé T-11, 2008. Disponible a:

<http://www.cebek.com/Productes.aspx?referencia=963&article=modulos-optocoplados-a-triac>

[64] Modulo Relé SKM-SP2, 2008. Disponible a:

<http://www.selekron.com/controlip.htm>

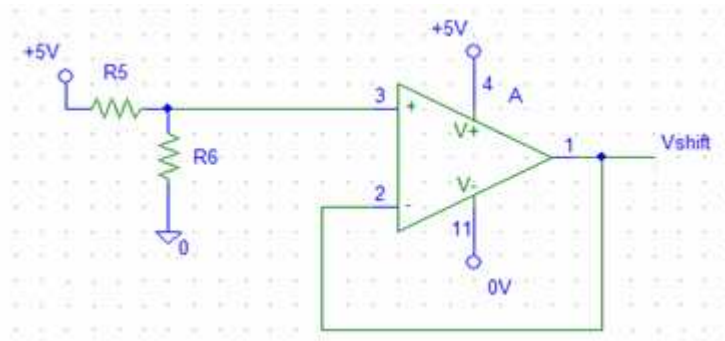


Fig. A.2 Divisor de tensió

Per obtenir $V_{\text{shift}} = +200 \text{ mV}$, tenim el següent:

$$V_{\text{shift}} = V_s \frac{R_6}{R_5 + R_6}$$

Si es fixa $R_5 = 100 \text{ k}\Omega$, el valor de R_6 ha de ser:

$$R_6 = \frac{R_5 \cdot V_{\text{shift}}}{(V_s - V_{\text{shift}})} = \frac{100 \text{ k}\Omega \cdot 0.2 \text{ V}}{(5 - 0.2) \text{ V}} = 4170 \Omega$$

Els components de l'amplificador operacional en mode restador es calculen com es mostra a continuació.

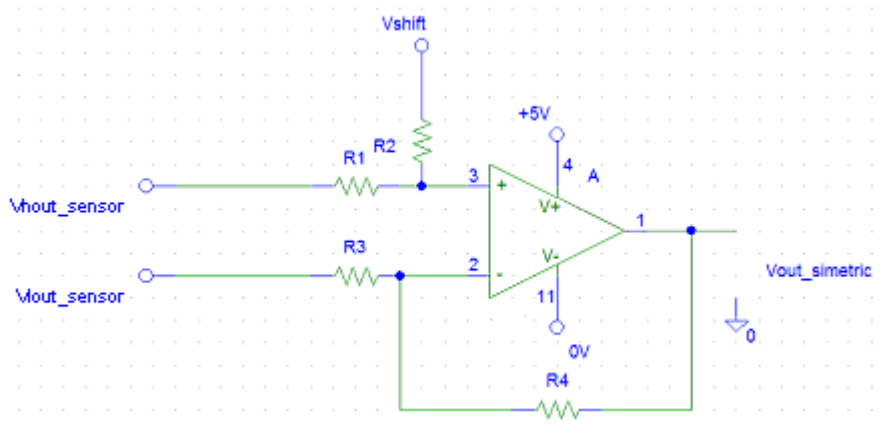


Fig. A.3 AO restador

La sortida i les resistències es calculen com:

$$V_{\text{out_simetric}} = V_{\text{hout_sensor}} \cdot \left(\frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2) \cdot R_3} \right) - V_{\text{lout_sensor}} \cdot \left(\frac{R_4}{R_3} \right) + V_{\text{shift}} \cdot \left(\frac{R_1 (R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2) \cdot R_3} \right)$$

Si $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4}$ s'obté la següent simplificació:

$$V_{out_simetric} = [V_{hout_sensor} - V_{lout_sensor}] \cdot \frac{R_4}{R_3} + V_{shift}$$

Com que només es vol convertir la senyal diferencial en simètrica i sumar l'offset, l'amplificador s'ha de configurar per obtenir un guany de 1.

$$\frac{V_{out_simetric} - V_{shift}}{V_{hout_sensor} - V_{lout_sensor}} = \frac{R_4}{R_3} = 1$$

Fixant el valor de $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ i $R_3 = 10\text{ k}\Omega$ s'obté $R_2 = 10\text{ k}\Omega$ i $R_4 = 10\text{ k}\Omega$

La següent figura mostra l'esquema final del senyal simètric i l'offset.

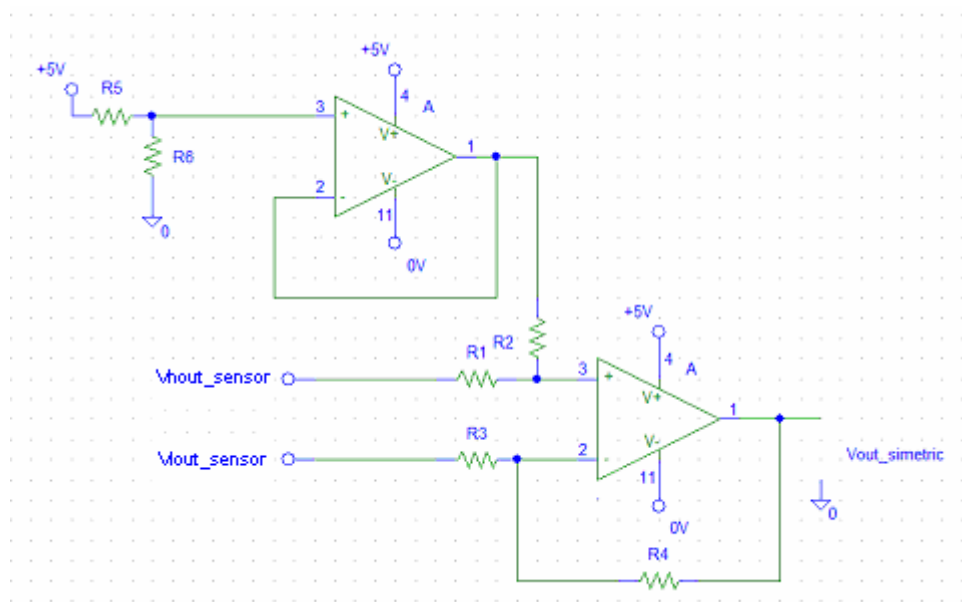


Fig. A.4 Senyal simètric amb offset

L'últim pas és configurar un altre amplificador operacional en mode no inversor per tal d'obtenir un guany de 6,25.

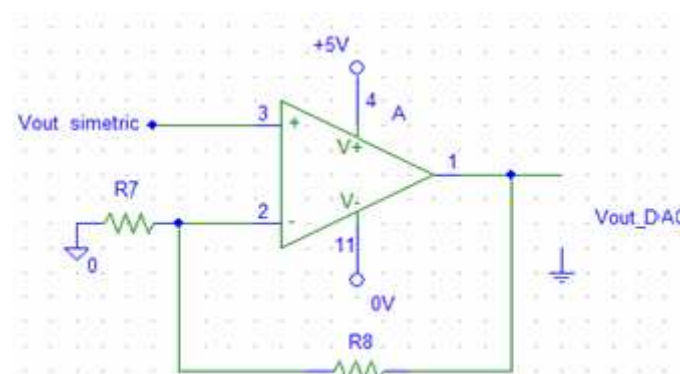


Fig. A.5 AO no inversor

La sortida del amplificador es calcula com:

$$V_{out_DAQ} = V_{out_simetric} \left(\frac{R_8}{R_7} + 1 \right)$$

Per tant el guany serà:

$$G = \left(\frac{R_8}{R_7} + 1 \right) = 6,25$$

Si es fixa $R_7 = 10 \text{ k}\Omega$, s'obté $R_8 = 52,5 \text{ k}\Omega$

ANNEX B

B.1 Model electrònic

Per tal de poder mesurar la conductivitat elèctrica es necessita generar una tensió alterna. Aquest senyal tant pot ser d'ona quadrada com sinusoidal però aquest últim té una major eficiència i és menys susceptible a interferències i/o soroll i per aquesta raó s'utilitzarà un senyal d'ona sinusoidal.

Un altre dels punts importants a tenir en compte en la generació del senyal altern és la seva freqüència ja que per freqüències menors a 1kHz hi ha problemes en les mesures deguts als moviments de les molècules.

Aquest sensor, igual que la resta de sensors que requereixen alimentació, utilitzarà els 5Vdc que ofereix el DAQ, per tant a partir d'aquesta tensió s'ha de generar el senyal altern (amb valor promig 0 per evitar la polarització del elèctrodes) que passarà entre els elèctrodes.

Per tal de generar el senyal altern, s'utilitzarà un oscil·lador Pont de Wien configurat per donar un senyal de 10Vpp a una freqüència de 10 kHz. Com que l'amplificador operacional no és ideal, el senyal de sortida real serà d'uns 9Vpp.

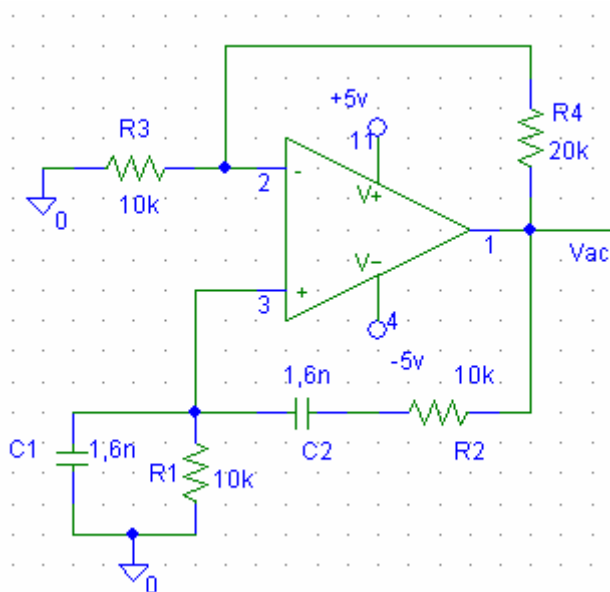


Fig. B.1 Pont de Wien

Aquesta tensió alterna passarà entre els dos elèctrodes. Mesurant a la sortida dels elèctrodes la corrent que la dissolució ha deixat passar i fent ús de la llei d'Ohm es pot obtenir la conductivitat de la dissolució.

Per tal de treballar amb tensió, a la sortida del elèctrode, s'utilitza un amplificador operacional amb una resistència en la realimentació negativa.

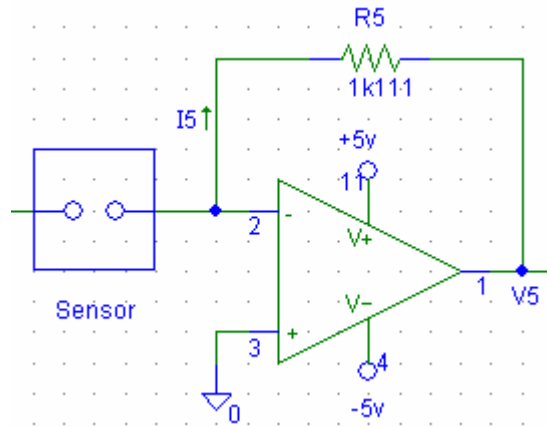


Fig. B.2 AO Corrent-tensió

Per escollir el valor de la resistència R_5 s'ha tingut en compte el marge de conductivitat que es vol mesurar per obtenir així una tensió de 0V per una conductivitat de 0mS/cm i una tensió de -5V per una conductivitat de 10mS/cm.

Per calcular el valor de V_5 tenim que:

$$-V_5 = I_5 \cdot R_5$$

Per la llei d'Ohm sabem que I_5 és igual al quocient entre V_{AC} i la resistència que presenta la dissolució i que aquesta resistència és la inversa de la Conductivitat per la constant (K) de la cel·la dels elèctrodes.

$$I_5 = \frac{V_{AC}}{R_{dissolució}} \quad R_{dissolució} = \frac{1}{C \cdot K}$$

Substituint I_5 a la primera expressió s'obté que:

$$-V_5 = C \cdot K \cdot V_{AC} \cdot R_5$$

Si es vol tenir que per $C=10\text{mS/cm}$ $V_5 = -5\text{V}$, el valor de R_5 haurà de ser de $1\text{K}111\Omega$.

L'últim pas es convertir aquest senyal altern en un senyal continu per tal que el DAQ pugui fer les lectures de conductivitat. Per convertir el senyal altern en continu s'utilitzarà un rectificador de precisió de mitja ona amb un condensador prou gran per tal d'evitar que hi hagi caigudes de tensió entre ona i ona.

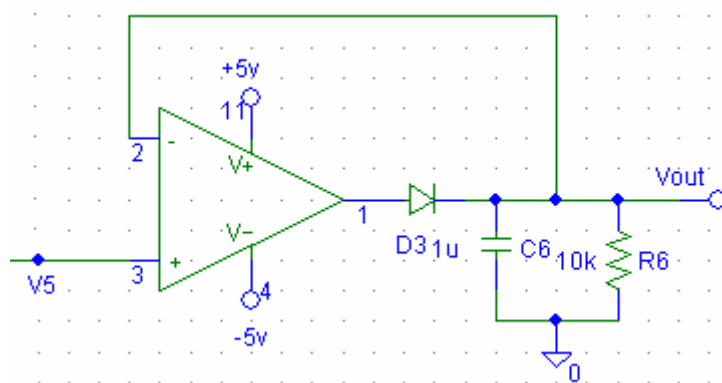


Fig. B.3 Rectificador de precisió de mitja ona

